



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MUSEO

Ensamblados de peces en los bosques de kelp de *Macrocystis pyrifera* en el Canal Beagle, Tierra del Fuego: estructura comunitaria y variación espacio-temporal

ADRIANA MILENA CRUZ-JIMÉNEZ

Tesis presentada para optar al título de Doctora en Ciencias
Naturales

Director: Dr. Daniel Alfredo Fernández
Co-Director: Dr. Darío Cesar Colautti

La Plata, Provincia de Buenos Aires
República de Argentina

Año 2019

Es un bosque debajo del mar, los peces parecen aves que se posan con sus aletas sobre las frondes de las macroalgas, los cangrejos trepan las estípes cual arañas en las ramas, mientras los caracoles violetas, rosados y blancos junto a las estrellas de mar parecen frutitos caídos en el fondo. Allí sobresalen los grampones con sus hapterios entretejidos haciendo de nido para muchas crías que sigilosas observan cuando aparece un lobo marino con aire de yaguareté y cuya presencia hace que todas las criaturas, incluyendo las mujeres buzo se escabullan con precaución y respeto. El mar no nos pertenece, nosotras le pertenecemos al mar....

DEDICATORIA

A mi madre María E Jiménez, a mis tías: Mercedes e Hilda Jiménez y Rosa Guzmán, a mis abuelas María Rebeca Guzmán y Lucila Barbosa, a mis primas, a mis amigas, a todas las mujeres que con sus abrazos, risas, mimos, palabras y ejemplos de vida me han acompañado y dado la fortaleza para aportar un numerito subversivo a las estadísticas de mujeres de origen campesino que han tenido la oportunidad de recorrer un camino académico.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	7
DECLARACIONES ÉTICAS	10
RESÚMEN	11
ABSTRACT	12
i. CONSIDERACIONES GENERALES	13
i.i INTRODUCCIÓN.....	13
i.ii ÁREA DE ESTUDIO	17
i.iii DISEÑO DE MUESTREO	19
 1. CAPÍTULO I: Macrofauna asociada a los grampones de los bosques de kelp de <i>Macrocystis pyrifera</i> en el Canal Beagle, Argentina	21
1.1 INTRODUCCIÓN.....	21
1.2 OBJETIVOS	24
1.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
1.3.1 Diseño de muestreo.....	24
1.3.2 Obtención de las muestras	25
1.3.3 Procesamiento de las muestras	25
1.3.4 Identificación taxonómica	26
1.3.5 Parámetros ambientales.....	26
1.3.6 Análisis estadístico	26
1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
1.4.1 Características de los grampones	33
1.4.2 Macrofauna asociada a los grampones de <i>M. pyrifera</i>	33
1.4.3 Peces asociados al grampón de <i>M. pyrifera</i>	42
1.4.4 Parámetros ambientales.....	45
1.4.5 Vinculación de las diferencias en las comunidades biológicas con los patrones de las variables ambientales.....	49
1.4.6 Variación espacio-temporal de la macrofauna asociada a los grampones de <i>M. pyrifera</i>	51
1.5 CONCLUSIONES.....	61
 2. CAPÍTULO II: Selección de microhábitat por parte de tres especies de peces subantárticos asociados a los bosques de <i>Macrocystis pyrifera</i>	63
2.1 INTRODUCCIÓN.....	63
2.2 OBJETIVOS	67
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	67

2.3.1	Diseño de muestreo	67
2.3.2	Trabajo de campo	69
2.3.3	Trabajo de laboratorio	70
2.3.4	Análisis estadístico	71
2.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
2.4.1	Preferencia de hábitat de las especies estudiadas.....	72
2.4.2	Índices de selección de hábitat	79
2.5	CONCLUSIONES.....	81
2.6	ANEXOS	82
3.	CAPÍTULO III: Ensamblajes de peces en dos estratos de los bosques de kelp de <i>Macrocystis pyrifera</i>.....	86
3.1	INTRODUCCIÓN.....	86
3.2	OBJETIVOS	88
3.3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	88
3.3.1	Diseño de muestreo	88
3.3.2	Trabajo de campo	89
3.3.3	Trabajo de laboratorio	89
3.3.4	Parámetros ambientales.....	90
3.3.5	Análisis estadístico	90
3.4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	92
3.4.1	Vinculación de las diferencias en los ensamblajes ícticos con los patrones de las variables ambientales.....	92
3.4.2	Descripción del ensamblaje de peces asociados a los bosques de <i>M. pyrifera</i>	93
3.4.3	Variación espacio-temporal de la captura por unidad de esfuerzo	95
3.4.4	Índices de biodiversidad de los ensamblajes de peces asociados a dos estratos del bosque de kelp de <i>M. pyrifera</i> según las estaciones.....	97
3.4.6	Jerarquización de especies.....	104
3.4.6.1	Análisis estadístico de las diferencias entre las campañas de muestreo	106
3.4.7	Caracterización biológica de dos especies de Nototénidos	109
3.4.8	<i>Paranotothenia magellanica</i>	110
3.4.10	<i>Patagonotothen tesellata</i>	118
3.5	CONCLUSIONES.....	125

4. CAPÍTULO IV: Sistema de video submarino estereoscópico con carnada como herramienta para el estudio de la ictiofauna asociada a los bosques de <i>M. pyrifera</i> en el Canal del Beagle	127
4.1 INTRODUCCIÓN	127
4.2 OBJETIVOS	131
4.3 MATERIALES Y MÉTODOS	131
4.3.1 Sistemas de filmación submarina	131
4.3.2 Diseño de los sistemas de video	132
4.3.3 Calibración y corrección de los sistemas de video	132
4.3.4 Precisión de las medidas obtenidas con los sistemas de video	133
4.3.5 Sistema de video submarino con carnada para la columna de agua	134
4.3.6 Sistema de video submarino remoto con carnada para el fondo	136
4.3.7 Diseño de muestreo	137
4.3.8 Trabajo de campo	137
4.3.9 Trabajo de laboratorio	139
4.3.10 Análisis estadístico	140
4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	141
4.4.1 Vinculación de las diferencias en los ensambles ícticos con los patrones de las variables ambientales	141
4.4.2 Caracterización de la macrofauna asociada a <i>M. pyrifera</i> mediante video submarino	142
4.4.3 Caracterización de los ensambles ícticos asociados a <i>M. pyrifera</i> mediante video submarino	148
4.4.4 Análisis de escalamiento multidimensional (MDS)	154
4.4.5 Distribución de frecuencias de talla de <i>P. magellanica</i>	155
4.4.6 Efectividad del sistema de videos submarino estereoscópico 3D como herramienta para el estudio del ensamble íctico en los bosques de <i>M. pyrifera</i>	159
4.4.7 Tiempo de grabación	160
4.4.8 Comportamiento y uso de la carnada por parte de los peces	162
4.4.9 Desplazamiento de los peces	164
4.5 CONCLUSIONES	165
4.6 RECOMENDACIONES	166
5. CONCLUSIONES GENERALES	168
6. BIBLIOGRAFÍA	172

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, especialmente a mi madre María E. Jiménez, mi padre Orlando Cruz, a mi hermano Edwin y a mi abuelo Humberto Jiménez por todo lo que han trabajado para ayudarme a recorrer este camino académico. Gracias por apoyarme amorosa e incondicionalmente, por alentarme siempre a hacer lo que más me gusta. A mi madre especialmente: su valentía, su amor, su alegría y perseverancia es algo que llevo grabado a fuego en el corazón y son las herramientas de las que me valgo en cada uno de los proyectos de mi vida, éste incluido. También quiero agradecer a mis amigos y amigas que me han alentado, alegrado y también centrado en los momentos en los que necesité cada una de esas cosas. A Mirsha siempre generoso, a Laura Cocito y a Vivian Yorojo siempre dispuestas a ayudarme, a Sonia la contención del laboratorio, a las Flores, a Lana. Agradezco a Carolina, Anita, Diana y también a ti Andreita te voy a extrañar siempre amiga. Agradezco también muchísimo a Luis Santamaría porque su amor, ternura, paciencia y apoyo incondicional han sido fundamentales para culminar este trabajo.

Agradezco al CONICET, esta institución no solamente contribuye a la sociedad Argentina, sino que a través de las becas de doctorado otorgadas a personas de otros países, funciona como un vivero de científicas consientes de la importancia de la colaboración entre países y de conservar el derecho a la educación al alcance de todas las personas.

También quiero agradecer al Centro Austral de investigaciones Científicas (CADIC-CONICET) particularmente al personal del laboratorio de ecología, fisiología y evolución de organismos acuáticos a Javier Rojo por su disposición a ayudarnos a todos y a Daniel Bruno. A la Universidad Nacional de la Plata y a la Facultad de Ciencias Naturales y Museo. A la división de ecología del Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” especialmente a Diego Urteaga por su colaboración en la identificación de los Poliplacóforos, a María José Pío por la identificación de los

Gasterópodos, a Mariano Martínez por su ayuda en la identificación de los Holotúridos y a Ignacio Chiesa con la identificación de los Anfípodos, gracias por el tiempo dedicado y la generosidad en compartirme su amplio conocimiento. También quiero agradecer a Jason Neuswanger de la Universidad de Georgia por facilitarme e instruirme en la utilización del Software VidSync, a Mathias Hüne de la Universidad de Chile y David Galván junto con su equipo de trabajo del CENPAT y especialmente a Andrés Jaureguizar por su colaboración y sobretodo por sus palabras que me animaron en un momento muy difícil, también quiero agradecer a Charango por toda su ayuda con los equipos de filmación.

A mi director Daniel Fernández le agradezco muchísimo que siempre recibió todas mis inquietudes con una sonrisa y las resolvió con generosidad y asertividad, además creyó en mis capacidades y con mucha paciencia me ayudó a cumplir esta meta, su apoyo moral y académico fue crucial, siempre llevaré conmigo un ejemplo de director justo, confiable, con una gran calidad humana y abierto a nuevas ideas. Al Instituto de Limnología Dr. Raúl A. Ringuelet (CONICET) y especialmente a mi Codirector Darío Colautti quien siempre estuvo presto a colaborar en todo lo necesario y cuya pasión profesional ha sido inspiradora para mí. Al proyecto de inversión pública (PIP 031): Biodiversidad y efecto de la temperatura en el metabolismo de los peces de agua dulce y marinos en Tierra del Fuego, un área de confluencia de faunas de origen Pacífico, Antártico y Atlántico.

También quiero agradecer a mis compañeros en el mar: Daniel Aureliano, Marcelo Pérez y Facundo Llopart, quienes estuvieron conmigo en los días de viento, de nieve, de frío, cuando las redes se enredaron, cuando estaba exhausta y cuando pasaba todo esto junto, mejor dicho: gracias infinitas porque hicieron que cada una de las campañas fuera exitosa, porque literalmente contra viento y marea las campañas siempre fueron una fuente de alegría para mí, gracias por toda la calidez y alegría con que me acompañaron. A Facundo Llopart también le agradezco por sus aportes académicos, pero sobretodo le agradezco con todo mi corazón el esfuerzo, la alegría y el amor que puso en esta aventura, por apoyarme y acompañarme valientemente hasta el fin del mundo cuando le dije que

quería hacer un doctorado, también agradezco a su familia que me adoptó tan amorosamente y se convirtió en mi familia Argentina. A Lucas Bustos, a Philip y a Diego Urteaga por participar en las campañas de muestreo, a Diego, Cai y el negrito además les agradezco su amistad, el haberme acogido en su casa durante mi estadía en Buenos Aires y por su puesto a mis amados gatos Puma, Unqa y al perrito Camilo porque cuando tenía la cabeza saturada de palabras y números siempre me devolvieron la claridad, la tranquilidad y la inspiración.

DECLARACIONES ÉTICAS

Es preciso reconocer que toda forma de vida es un valor en sí mismo, que debe ser respetada y protegida. El respeto hacia los animales no es incompatible con el valor del conocimiento teniendo en claro que respetar no es no tocar: es valorar, comprender y estimar lo que se toca; y, sobre todo, hacerse responsable de todo lo que se toca (Montenegro et al., 2011).

Este trabajo se realizó teniendo en cuenta las proposiciones para una ciencia y una tecnología socialmente responsable (Comité Nacional de Ética en la Ciencia y la Tecnología CECTE, del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la República de Argentina).

RESÚMEN

Se estudiaron los ensambles de peces asociados a dos estratos: fondo y columna de agua, de tres bosques de *Macrocystis pyrifera*: Isla Bridges, Conejo y Dos Lomos, en el Canal Beagle durante dos años consecutivos. Para ello se emplearon diferentes metodologías: extracción de la estructura de fijación de la macroalga (grampón), experimentos comportamentales de elección de microhábitat, pesca con trasmallos y videos submarinos con carnada. En los grampones se hallaron 95 taxones, 4 de los cuales fueron peces; con los videos 19 taxones, de los cuales tres fueron peces y con los trasmallos se hallaron 6 especies de peces (diferentes a las halladas en el grampón). Según los resultados obtenidos, los peces asociados al bosque de *M. pyrifera* hacen un uso diferencial de los dos estratos. Las dos especies más abundantes fueron *Paranotothenia magellanica* y *Patagonotothen tesellata*. La primera, es dominante en los dos estratos, mientras que *P. tesellata* está más asociada al estrato fondo. La abundancia de estas especies varía según la estación y esa variación está influenciada por sus ciclos reproductivos y a su vez por las variables ambientales como la temperatura del agua. En cuanto a los experimentos, la elección por parte de *Patagonotothen cornucola*, *Harpagifer bispinis* y *Maynea puncta* de los microhábitats ofrecidos por el bosque de cachiyuyo varía según la densidad de individuos de su propia especie y de otras especies. En relación a las metodologías empleadas, el uso de videos submarinos como metodología complementaria a los trasmallos, brinda un panorama más abarcativo de la estructura poblacional de los ensambles de peces asociados a los bosques de kelp.

ABSTRACT

The fish assemblages associated with two strata, bottom and water column, were studied in three *Macrocystis pyrifera* kelp forests in the Beagle Channel (Island Bridge, Conejo and Dos Lomos) over a period of two years. A variety of methodologies were used: holdfast extraction, behavioral experiments related to the choice of microhabitat, use of gill nets and underwater bait-videos. Ninety-five different taxa were found in the holdfast, 4 were fishes, with the gill nets 6 different species of fishes were founded and a total of 19 taxa were recorded with the underwater baited-video, 3 of them were fishes. According to the results, the fish associated with the *M. pyrifera* kelp forest make differential use of the two strata. The two most abundant species were *Paranotothenia magellanica* and *Patagonotothen tesellata*. The first one is dominant in the two strata while *P. tesellata* is more associated just with the bottom strata. The abundance of these species change according to the season and that variation is influenced by their reproductive cycles and also by environmental variables such as water temperature. Regarding the behavior experiments, the choices made by *Patagonotothen cornucola*, *Harpagifer bispinis* and *Maynea puncta* over the microhabitats offered by the kelp forest changed according to the density of individuals of their own species and of other species. Relative to all the methodologies used, the use of underwater videos works as a complementary methodology to trammel nets provided a most comprehensive picture of the population structure of schools of fish associated with kelp forests.



Bosque de *Macrocystis pyrifera* en la Isla Bridges del Canal Beagle

i. CONSIDERACIONES GENERALES

i.i INTRODUCCIÓN

Los bosques de kelp dominan los hábitats marinos rocosos de las costas templado-frías de todo el mundo. Hasta hace pocos años su distribución se creía acotada a un cinturón de latitudes medias entre los 40°–60° en ambos hemisferios. Sin embargo, Graham et al. (2007a) mediante un modelo sintético oceanográfico predijo la existencia de más de 23,500 Km² inexplorados de bosque de kelp sumergido en aguas tropicales. Basados en el modelo de Graham et al. (2007a), se descubrieron poblaciones de kelp en Galápagos (Ecuador). Dicho descubrimiento reconsidera la importancia de los bosques de macroalgas en la productividad, la biodiversidad y sus

implicaciones en la ecología, y la red trófica no solo de las latitudes medias sino también de la región tropical.

Los bosques de kelp albergan una comunidad faunística dominada por las mismas especies de algas en diferentes regiones, estaciones y regímenes de exposición a diferentes factores; por lo tanto, es una fuente de especies indicadoras para monitorear los ecosistemas marinos en respuesta a varios tipos de impacto ambiental (Christie et al., 2003; Anderson et al., 2005) y un modelo en el entendimiento de la resiliencia de los sistemas marinos frente al cambio climático (Graham et al., 2007b).

Entre las diferentes especies formadoras de bosques de kelp, *Macrocystis pyrifera* (L.) predomina a lo largo de las costas occidentales de América y también en lugares dispersos del Océano Pacífico Sur incluyendo varias islas subantárticas (Steneck et al., 2002). Los bosques formados por *M. pyrifera* son uno de los ecosistemas más productivos y diversos del mundo (Graham et al., 2008) presentando incluso mayor productividad y diversidad (a nivel de phyla) que los bosques terrestres (Steneck et al., 2002). En Argentina, *M. pyrifera* se extiende a lo largo del Atlántico Sur desde la Península Valdés hasta Tierra del Fuego incluyendo el Canal del Beagle (Vanella et al., 2007). La fauna asociada a los bosques de *M. pyrifera* representa un recurso alimenticio muy importante ya que el bosque alberga grandes números de potenciales presas para los animales de niveles tróficos altos como peces, cangrejos, lobos marinos y aves marinas. Estos consumidores móviles juegan un rol significativo en el transporte del carbón dentro y fuera del sistema (Jorgensen & Christie, 2003).

La variación espacio-temporal de los kelp contribuye significativamente a la dinámica de muchas comunidades de peces (Dayton, 1985; Anderson, 1994). Su complejidad estructural modula la organización trófica de la comunidad faunística debido a la provisión diferencial de alimento, refugio y áreas de reproducción (Castilla, 1985; Holbrook et al., 1990; Graham, 2004). En este sentido se ha descrito que las distintas partes de las macroalgas (grampón o disco de fijación, estípe y frondes) son utilizadas

diferencialmente por una especie o por grupos de especies en distintos estadios de sus ciclos de vida (Anderson, 1994) y/o en el mismo estadio para diversos propósitos (Christie et al., 2007).

En un trabajo realizado en la isla Navarino, en el sector chileno del Canal Beagle, Moreno & Jara (1984) utilizaron la técnica de censos visuales en un bosque de *M. pyrifera* y encontraron que la comunidad de peces estaba compuesta por 18 especies, y que la variación de las abundancias de peces estaría relacionada al tipo de fondo, y a la estructura de la macroalga en la columna de agua. En Argentina, Vanella et al. (2007) reportó 11 especies de peces, y una asociación de peces distinta en la columna de agua con respecto al fondo del mismo bosque. Sin embargo, ninguno de los dos estudios analizó la relación de estos ensambles (estructura y composición) con las variables ambientales como temperatura y salinidad, las cuales son de conocida significancia en la estructuración comunitaria de peces marinos (Galván et al., 2009).

Vanella et al. (2007) destacan el valor de analizar en detalle los grampones ya que contienen más del 50% de la diversidad de peces del ecosistema. Más aún, Adami & Gordillo (1999) hallaron en los grampones 54 especies de invertebrados que varían estacionalmente, y que podrían constituir potenciales especies presa para los peces que utilizan el grampón como microhábitat.

En cuanto a los antecedentes respecto de la ictiofauna del Canal de Beagle, Lloris & Rucabado (1991) utilizaron diversas técnicas de muestreo como trasmallos, agalladeras, palangres y anestésicos en diferentes zonas del canal y obtuvieron como resultado el registro de 49 especies. Unos años después López et al. (1996) realizaron la lista comentada de la ictiofauna del Canal Beagle. Sin embargo, ninguno de estos trabajos provee una descripción temporal ni espacial de los peces asociados a *M. pyrifera*; tampoco hacen referencia a las características ecológicas de los ensambles, ni a las diferencias de estos en los distintos estratos del bosque.

A pesar de que los bosques de *M. pyrifera* han sido considerados un reservorio de biodiversidad excepcional (Vásques et al., 2001), de su importancia económica y de su amplia distribución en la Región Magallánica, los conocimientos relativos tanto de la macroalga *per se* como de los organismos asociados a sus diferentes estructuras son escasos en los países de Sur América (Ríos et al., 2007; Ríos & Mutschke, 2009).

Pérez-Matus et al. (2007), sugirieron que son necesarias investigaciones más detalladas sobre los patrones de distribución y abundancia de especies, incluyendo la variabilidad espacial y temporal dentro y entre los bosques de *M. pyrifera*, para entender cómo estas comunidades biológicas están estructuradas, qué factores abióticos y bióticos son responsables de su estructuración y cómo la comunidad natural podría funcionar. En respuesta a la necesidad de realizar investigaciones más detalladas ha habido un creciente interés en el desarrollo de métodos no-destructivos como los videos submarinos, puesto que pueden ser utilizados en áreas marinas protegidas y además proveer otro tipo de información a diferencia de los trasmallos (ej. comportamiento de las especies).

En este sentido, este trabajo pretende comprender la importancia de la heterogeneidad estructural de la macroalga (*M. pyrifera*) para las comunidades asociadas al bosque y analizar la contribución de dicha riqueza a la biodiversidad existente en el Canal Beagle. Además, se busca conocer la selección de hábitat de tres especies de peces asociados al bosque a través de métodos experimentales y presentar dos sistemas de filmación remota submarina 3D como alternativa y complemento del estudio de los ensambles de peces asociados al bosque de *M. pyrifera*. Los resultados de este estudio aportarán conocimiento científico que podrá ser utilizado como un soporte para el manejo y conservación del ecosistema de *M. pyrifera*.

I.ii ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en tres bosques de kelp de la macroalga *M. pyrifera* (Fotografía I) cercanos a la ciudad de Ushuaia, en la costa norte del Canal Beagle. El Canal del Beagle conecta los océanos Pacífico y Atlántico en el extremo meridional de Sur América ($54^{\circ}53'$ S). Conforman una cuenca de unos 300 m de profundidad máxima, tiene una extensión de 180 Km y el ancho medio es de 5 Km. El canal es un valle tectónico que fue completamente cubierto por el hielo glaciar durante la última glaciación. Posteriormente, el canal fue ocupado por un lago glaciar desde los 12 mil a los 8 mil años A.P. y luego fue invadido por el mar que alcanzó un nivel máximo entre los 6 mil y 5 mil años A.P. (Isla et al., 1999; Bujalesky et al., 2004).

La región del Canal Beagle es considerada parte del ambiente subantártico. El tipo climático ha sido clasificado como templado húmedo, oceánico y perteneciente a la zona antártica en su variante oceánica (Köppen, 1936; Troll & Paffen, 1964; Walter, 1976 en Iturraspe & Schroeder, 1994). La temperatura media del aire en Ushuaia es de $5,9^{\circ}\text{C}$, sin verano térmico y con posibilidad de ocurrencia de nevadas durante todo el año. La temperatura promedio del agua de mar medida en el muelle de combustibles de Ushuaia es de $6,5^{\circ}\text{C}$. Los vientos predominantes son los del sudoeste con una frecuencia anual de 23,6% y velocidad media de 31 Km/h, 10 días al año superan los 100 Km/h pudiendo llegar excepcionalmente a 200 Km/h (Iturraspe & Schroeder, 1994).

La elección de los tres bosques se basó en los siguientes criterios: i) que se encontraran suficientemente alejados de la ciudad de Ushuaia, para disminuir el potencial aporte antrópico de nutrientes, ii) que fueran similares en cuanto a sustrato, profundidad, tamaño, etc., iii) que tuvieran una energía de ola moderada, que permitiera realizar los buceos y la recuperación de los trasmallos, durante todo el año a pesar de los vientos fuertes característicos de la región.

Los tres sitios de muestreo forman parte del archipiélago denominado Islas Bridges: en la Isla Conejo ($54^{\circ} 50' 47.256''$ S; $68^{\circ} 15' 5.976''$ W), Isla

Dos Lomos ($54^{\circ} 50' 20.9394''$ S; $68^{\circ} 15' 39.9594''$ W) e Isla Bridges ($54^{\circ} 52' 8.184''$ S; $68^{\circ} 14' 6.828''$ W) (Figura I, Fotografía I).

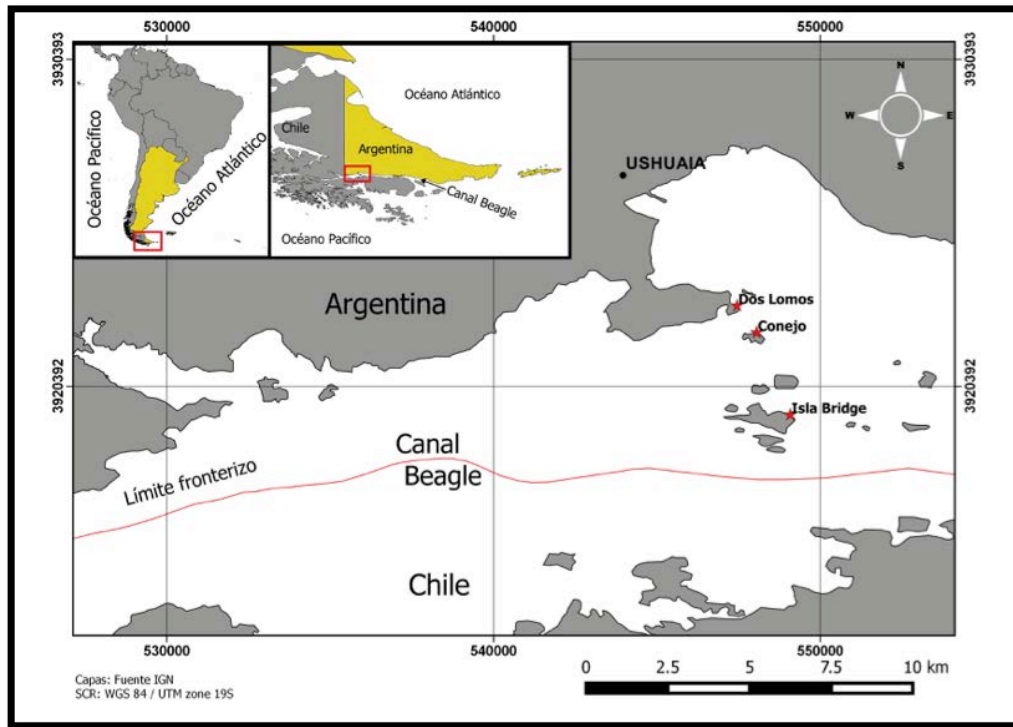








Figura I Ubicación de los sitios de muestreo: Dos Lomos, Conejo e Isla Bridges



Fotografía I Bosque de *Macrocystis pyrifera* en el Canal del Beagle

I.iii DISEÑO DE MUESTREO

La fase inicial del proyecto duró aproximadamente un año e incluyó la recopilación de bibliografía, y el diseño y creación de dos sistemas remotos de vídeo estereoscópico submarino 3D con carnada (de columna de agua y de fondo). También implicó el desarrollo de un protocolo de buceo y manipulación de los equipos en aguas frías ($<7^{\circ}\text{C}$), la puesta a punto de la metodología de muestreo relacionada a la extracción de los grampones y el uso de los trasmallos. Posteriormente, durante dos años consecutivos (2013 y 2014), se realizaron 24 campañas de muestreo estacionales (verano, otoño, invierno y primavera) en cada uno de los 3 sitios ya mencionados. Cada muestreo consistió en:

-  Medición de parámetros ambientales
-  Filmación del fondo del bosque de *M. pyrifera* (60 min)
-  Filmación de la columna de agua del bosque (60 min)
-  Extracción de grampones
-  Puesta y recolección de redes de fondo
-  Puesta y recolección de redes de la columna de agua

Cada muestreo estacional duró aproximadamente dos semanas consecutivas. Dadas las condiciones ambientales del lugar, con un clima de características subpolares con temperaturas medias anuales de $5,9^{\circ}\text{C}$ y velocidad del viento con máximas de entre 160 Km/h y 200Km/h (Iturraspe & Schroeder, 1994; Borla & Vereda, 2001) algunas veces, las campañas de muestreo se extendieron hasta a tres semanas o tuvieron que repetirse.

Es importante tener en cuenta que las filmaciones de fondo y columna de agua necesitan condiciones ambientales con poco viento y buena visibilidad al igual que las inmersiones de buceo para realizar la recolección de los grampones. Por su parte, para la puesta y recuperación de las redes se necesitan dos días consecutivos de buen tiempo. En consecuencia, las épocas de muestro se definieron no por fechas sino por estaciones. La tabla I especifica el período comprendido en cada una de las épocas de muestreo.

Tabla I Fechas correspondientes a las épocas de muestreo

Época de muestreo		Fecha
Verano	2013	28 Febrero -14 de Marzo
Otoño	2013	7 Mayo - 17 Mayo
Invierno	2013	6 Agosto -16 Agosto
Primavera	2013	4 Noviembre - 12 Noviembre
Verano	2014	10 Febrero 20 Febrero
Otoño	2014	19 Mayo - 26 Mayo
Invierno	2014	28 Agosto - 4 Septiembre
Primavera	2014	5 Noviembre - 12 Noviembre



Grampón de *Macrocyctis pyrifera*

1. CAPÍTULO I: Macrofauna asociada a los grampones de los bosques de kelp de *Macrocyctis pyrifera* en el Canal Beagle, Argentina

1.1 INTRODUCCIÓN

Macrocyctis pyrifera es una especie formadora de dosel que ocupa toda la columna de agua (Colombo-Pallota et al., 2006). Su estructura anatómica se divide básicamente en tres partes: el grampon, el estipe y la lámina (Figura 1.1). Cada una de las partes de la macroalga alberga diversos organismos.

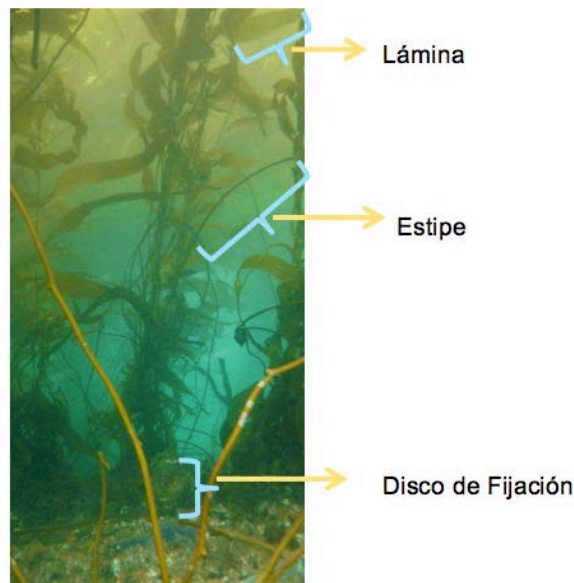


Figura 1.1 Diferentes partes de *Macrocystis pyrifera*

El grampón es la parte del alga que toma contacto con el sustrato y mantiene al alga anclada a través de hapterios que se fijan a las rocas u otras superficies sólidas. El estipe crece unido al grampón y se asemeja al tallo de las plantas superiores. La lámina junto con el estipe conforma la fronda, parecido a lo que serían las ramas de las plantas superiores (Ibañez & Herrero, 2017).

El motivo por el cual *M. pyrifera* está catalogada como una especie constructora y estructuradora de ecosistemas, es porque produce fuertes modificaciones en la arquitectura de los habitats sublitorales (Jones et al., 1994). Si bien toda la macroalga aporta estructura al ecosistema, y por lo tanto a la biodiversidad, los grampones contribuyen particularmente a aumentar la diversidad local o alfa (Ríos, et al., 2007).

La estructura física del grampón ofrecen una variedad de microhábitats que son de suma importancia para el refugio de una gran cantidad de especies (Santelices & Ojeda, 1984; Anderson, 1994; Adami & Gordillo, 1999; Cariceo et al., 2002; Ríos et al., 2003). Al ser un hábitat de alta complejidad puede reducir la presión por depredación por dos razones: primero porque puede proveer más refugios (Hixon & Menge, 1991) y

segundo, porque puede alterar la eficiencia de forrajeo y disminuir la tasa de encuentro del depredador con la presa (Diehl, 1992; Hauser et al., 2006).

En la Región Magallánica se pueden citar algunos trabajos relacionados a los organismos asociados a los grampones de *M. pyrifera*, por ejemplo, Ojeda & Santelices (1984); Adami & Gordillo (1999); Ríos et al. (2007). En Argentina, en la provincia de Santa Cruz, se realizaron algunos estudios de los isópodos (Elías, 1981), anfípodos (Kreibohm & Escofet, 1976) y copépodos asociados a *M. pyrifera* (Pallates & Hall, 1974).

En el caso del estudio realizado por Ojeda & Santelices (1984) se encontraron 42 taxa de invertebrados y una especie de pez. Por su parte, Adami & Gordillo (1999) reportaron 54 taxa presentes en los grampones y Ríos et al. (2007) hallaron que el número de especies colectadas varió de 29 en el invierno a 42 en el otoño.

Según Ojeda & Santelices (1984) la variación de la abundancia y la diversidad está determinada por unas pocas especies. Tanto estos autores con Adami & Gordillo (1999) hallaron valores de abundancia y diversidad más altos durante la primavera y el verano. Por otra parte, en el caso de Ríos et al. (2007) la abundancia varió según el lugar de muestreo analizado. Los procesos relacionados a la variación de la abundancia y diversidad de especies son: la migración estacional de algunos taxa dominantes (Ojeda & Santelices, 1984), el reclutamiento de juveniles (Adami & Gordillo, 1999) y los disturbios que se producen sobre la disponibilidad de microhabitats debido a los vientos fuertes durante la primavera y el verano austral (Ríos et al., 2007).




Ríos et al. (2007) encontraron en los grampones diferentes grupos funcionales. Los detritívoros y carnívoros están mejor representados en el grampon y las especies filtradoras y forrajeadoras asociadas a las frondes. Según los tres estudios mencionados los grupos de taxa mejor representados en los grampones son: crustáceos, equinodermos, moluscos y poliquetos.

En cuanto a la relación de la ictiofauna con los bosques de kelp, se ha encontrado que diferentes estadios del ciclo de vida de los peces (larva, juvenil, adulto) han sido asociados con diferentes partes de la macroalga

(Nelson, 2001). Vanella et al. (2007) resalta la importancia del ecosistema de kelp para el suborden Notothenoidei que representa el 31% de la ictiofauna total del Canal Beagle. Moreno & Jara (1984) encontraron que el nototénido *Patagonotothen sima* depende la mayor parte del año del dosel del bosque, pero durante su periodo reproductivo (junio-agosto) migra hacia el fondo, para desovar en el grampón.

Este capítulo busca conocer la dinámica espacial y temporal de los ensambles de macrofauna asociados al grampón y entender como las variables ambientales afectan dicha dinámica, haciendo énfasis en la ictiofauna.

1.2 OBJETIVOS

-  Conocer la estructura comunitaria y la composición de especies en los grampones de *M. pyrifera* del Canal Beagle.
-  Investigar los peces asociados al grampón y su variación temporal y espacial.
-  Analizar los patrones espaciales y temporales de la comunidad asociada a los grampones.

1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

1.3.1 Diseño de muestreo

El estudio se llevó a cabo durante dos años consecutivos, entre febrero de 2013 y noviembre de 2014. Para conocer la variación estacional se recolectaron en cada año tres grampones por estación (verano, otoño, invierno y primavera), uno por cada sitio de muestreo (isla Bridges, Dos Lomos y Conejo), obteniendo así un total de 24 muestras.

1.3.2 Obtención de las muestras

Los grampones de *M. pyrifera* se extrajeron mediante buceo autónomo (SCUBA). Para su elección se tuvieron en cuenta las siguientes características: pertenecer a una macroalga viva, no estar al borde del bosque y que se pudieran desprender del sustrato sin perturbar excesivamente el ambiente.

Una vez elegido, el grampón se recolectó mediante la participación de tres buzos. Como primer paso, intentando perturbar lo menos posible el ecosistema, se recortaron las frondes e inmediatamente se cubrió el grampón con una malla de 3 mm de apertura, para evitar que los organismos móviles pudieran escapar. Una vez que el grampón estuvo completamente cubierto por la malla se procedió a su remoción y traslado a la embarcación donde se lo colocó en un cajón plástico individual. Dado que los grampones se anclan por medio de varios hapterios entrelazados como cuerdas formando un entramado complejo que se adhiere fuertemente al sustrato fijo fue necesario emplear cuchillos y barras de hierro para despegarlos del sustrato.

1.3.3 Procesamiento de las muestras

Una vez obtenidos, los grampones fueron trasladados al laboratorio donde se midieron (± 1 cm) y se pesaron ($\pm 0,1$ g) y se almacenaron en bolsas plásticas para ser congelados a -20 °C hasta su posterior análisis.

En el laboratorio, en base a la metodología empleada por Vásquez et al. (1984), los organismos macroscópicos fueron removidos manualmente, inspeccionando y separando cada hapterio cuidadosamente para evitar la ruptura de los ejemplares más frágiles. Una vez hecha la remoción de los organismos más grandes, se procedió a lavar cuidadosamente con agua corriente cada hapterio tres veces y el agua sobrante fue colectada y filtrada con un tamiz de 1000 μm de diámetro de malla. Los individuos recolectados

(> 1 mm) fueron identificados hasta el nivel taxonómico más bajo posible, contados y pesados con una precisión de $\pm 0,001$ g. Se procesó una submuestra siempre superior al 50% del grampón. Para hacer posibles las comparaciones de abundancia y número de especies entre sitios de estudio y épocas de muestreo, los datos se estandarizaron a un peso de grampón de 4000 g.

1.3.4 Identificación taxonómica

Los organismos se identificaron mediante la utilización de guías de identificación taxonómica y publicaciones estándar (Bernasconi & D'Agostino, 1977; Gon & Heemstra, 1990; Gordillo, 1991; Gordillo, 1995; Aldea Cristian, 2012; Doti, 2014). También se contó con la colaboración de especialistas del Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia” y del Centro Austral de Investigaciones Científicas (CADIC-CONICET).

1.3.5 Parámetros ambientales

Durante todo el periodo de estudio se utilizó un medidor multiparamétrico portátil (HANNA) para registrar la temperatura (°C) y la salinidad (ups). Además, se midió la transparencia (m) con un disco de Secchi según la metodología descrita por Wehkamp & Fischer (2012). La profundidad a la cual se realizaron los buceos y las extracciones de los grampones se midió con un barómetro incluido en el equipo de buceo.

1.3.6 Análisis estadístico

1.3.6.1 Curva de acumulación de especies

Este tipo de curva muestra el número de especies acumuladas a medida que se incrementa el esfuerzo de recolecta en un sitio, de tal manera

que la riqueza aumentará hasta llegar a un punto en el cual el número de especies alcanzará un máximo y se estabilizará en una asíntota.

Los principales modelos no paramétricos que se han empleado para la estimación de la riqueza son: Jackknife de 1ro y 2do orden, Bootstrap y el desarrollado por Anne Chao, el Chao 1 y Chao 2. De todos los modelos que se han desarrollado, Chao ha sido el más utilizado desde que fue propuesto en 1984. Chao 1 para el estimador basado en abundancias (se requieren datos de número de individuos) y Chao 2 para el estimador basado en incidencia (se requieren datos de ausencia-presencia) (Escalante, 2003).

En este estudio se eligió el estimador Chao 1, ya que se conoce la abundancia de individuos. El estimador Chao1 se basa en la presencia de especies representadas por pocos individuos en una muestra (especies raras) por lo que es necesario saber cuántas especies están representadas por sólo un individuo (*singletons*) y cuántas especies están representadas por exactamente dos individuos (*doubletons*).

Su fórmula se basa en:

$$S_{est} = S_{obs} + (F^2/2G)$$

Donde S_{est} es el número de especies que se desea conocer; S_{obs} es el número de especies observadas en una muestra; F es el número de *singletons* y G es el número de *doubletons*.

Para calcular el estimador Chao 1 mediante el programa PRIMER V6+ fue necesario organizar los datos en forma de una matriz de muestras (filas) y especies (columnas). Una vez que se realizan varias aleatorizaciones (100) y cuando se ha empleado el número total de muestras, se obtiene el valor final del estimador y se pueden graficar los resultados. El número de muestras se presenta en el eje de las x, y el número de especies en el eje de las y. La gráfica se interpreta de tal manera que cuando se tiene el número total de muestras, existe cierta separación entre la curva de la S_{est} y de la S_{obs} . Esa separación estaría indicando cuántas especies faltan por registrar en esa comunidad. Entre más separadas estén, podríamos esperar que el número total de especies que contenga difiera más del que actualmente conocemos.

1.3.6.2 Jerarquización de la comunidad asociada al grampón

Para obtener una estructura jerárquica de la macrofauna asociada al grampón se realizó un diagrama de Olmstead-Tukey (Sokal & Rohlf, 1979). En este gráfico se representa a una variable como el logaritmo natural de la abundancia, mientras que la otra variable corresponde al porcentaje de frecuencia relativa de las especies, calculado como:

$$\text{Frecuencia Relativa (\%)} = [(\sum N)(100)] / \sum Nt$$

donde, $\sum N$ = número de veces en que se capturó la especie x

$\sum Nt$ = Número total de capturas

Sobre este diagrama bidimensional se grafican dos líneas que representan el promedio de ambas variables, generando así cuatro cuadrantes (Jaureguizar et al., 2004; Jaureguizar et al., 2006):

i) el cuadrante superior derecho corresponde a las especies **abundantes** (las que presentan valores superiores para ambas variables); ii) el cuadrante inferior derecho contiene a las especies **frecuentes** (especies con valores de frecuencia relativa de aparición superior al promedio, pero inferiores para el caso de la abundancia); iii) el cuadrante superior izquierdo **ocasionales** (especies con valores de abundancia superior al promedio, pero inferior para el caso de la frecuencia relativa de aparición); iv) el inferior izquierdo contiene a las especies **raras** (que presentan valores inferiores para el promedio de ambas variables).

1.3.6.3 Análisis no paramétrico multivariado

El análisis estadístico puede ser de acuerdo a la cantidad de variables independientes a analizar: uni, bi o multivariado. A su vez, puede ser realizado mediante métodos paramétricos y no paramétricos. Puesto que múltiples variables explicarían la variación de la fauna asociada al grampón y que no todas estas variables cumplen los supuestos de los análisis

paramétricos, se empleó un análisis multivariado no paramétrico. Todos los análisis fueron realizados utilizando el software PRIMER v6+ (Anderson et al., 2008).

Para que el análisis multivariado tenga una base teórica sólida y unificada debe tener en cuenta: 1) la visualización de los patrones de la comunidad a través de la agrupación y la ordenación de las muestras; 2) la identificación de las principales especies responsables de determinar las agrupaciones de las muestras; 3) pruebas estadísticas para las diferencias espacio-temporales (análogas del análisis de la varianza, basadas en rangos de similitudes) y 4) la vinculación de las diferencias en las comunidades biológicas con los patrones de las variables ambientales (este último también basado en rangos de similitudes entre las muestras).

La representación de las comunidades para cada muestra se realizó mediante un método no paramétrico de escalado multidimensional, MDS (por sus siglas en inglés). El MDS genera un diagrama de las muestras en un número específico de dimensiones, donde la distancia entre las muestras coincide exactamente con el orden de clasificación de disimilitud tomado de la matriz de similitud (Clarke, 1993; Kindt & Coe, 2005). En otras palabras, el gráfico de ordenación da una representación visual simple y convincente de la proximidad de la composición de especies para un grupo de muestras. En el caso de la variable ambiental transparencia las muestras se agruparon según sus valores fueran mayor o menor a 5 metros (valor medio) para visualizar más fácilmente las muestras en el MDS.

Para visualizar el ordenamiento de cada una de las muestras se realizó un MDS con un análisis de CLUSTER superpuesto. La combinación de los análisis CLUSTER y de ordenación puede ser una forma muy efectiva de revisar la consistencia de ambas representaciones (Clarke, 1993). Posteriormente, se realizó un análisis de porcentaje de similitudes (conocido por sus siglas en inglés como SIMPER) con un diseño anidado de dos vías para caracterizar la comunidad por estación y sitio de muestreo. Además, se llevó a cabo un nested-ANOSIM (por sus siglas en inglés) para determinar si había cambios significativos en la composición de la comunidad.

La relación de las variables ambientales con la estructura de los ensamblajes asociados a los grampones de *M. pyrifera* se analizó mediante una rutina BEST+BIOENV (Clarke & Gorley, 2006) del software PRIMER v6+. Inicialmente fue necesario transformar la matriz ambiental con LogX+1 y posteriormente normalizar los datos obtenidos. A partir de estos datos se obtuvo la matriz para realizar la rutina. Los datos biológicos fueron transformados también con LogX+1 y se obtuvo la matriz biológica para realizar la rutina.

La rutina BEST+BIOENV tiene como objetivo encontrar las variables abióticas que mejor explican el patrón biótico (Clarke & Gorley, 2006). Para probar si estas variables tienen una significancia estadística se realizó un Global BEST *match permutation test*. Esta prueba produce 99 valores de p en un histograma, el cual debe representar el caso de la hipótesis nula. El valor de p real se debe comparar con este y si es mayor que cualquiera de los p calculados, entonces la hipótesis nula puede ser rechazada con $p < 0,01$.

El análisis de los parámetros ambientales se llevó a cabo mediante un PCA, que es un gráfico de ordenación multidimensional en el cual las muestras son proyectadas en varios componentes principales (ejes). Posteriormente se realizó un PERMANOVA, para comprobar si hubo diferencia entre los factores (lugar, época, estrato y año).

1.3.6.4 Índices

I) Número total de individuos N:

Como su nombre lo indica es el número total de individuos hallados en una muestra. Para permitir la comparación de las abundancias y realizar análisis de variabilidad espacial y temporal, el número de individuos fue estandarizado sobre la base de 4000 g de peso de grampón.

N= número total de individuos

II) Riqueza específica S:

Se define como el número total de especies que se encuentran en un hábitat/ecosistema/región determinada. Es un tipo de medida de la diversidad alfa. Se halla mediante la fórmula:

$$S = \text{Número total de especies}$$

Dado que S depende del tamaño de la muestra, es limitado como índice comparativo. Existen otros índices que se basan en la relación entre el S y el número total de individuos observados (Moreno, 2001). De esta manera, se soluciona el problema de la dependencia del tamaño de la muestra. Uno de ellos es el índice de Margalef.

III) Índice de diversidad de Margalef D_{MG} :

Transforma el número de especies por muestra a una proporción a la cual las especies son añadidas por expansión de la muestra. Supone que hay una relación funcional entre el número de especies y el número total de individuos (Magurran, 2005).

$$D_{MG} = \frac{S - 1}{\ln N}$$

donde S = número de especies

N = número total de individuos

IV) Índice de diversidad de Shannon-Wiener H' :

Este índice mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección. Adquiere valores cercanos a cero cuando hay una sola especie dominante en número y se aproxima al logaritmo de S cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Moreno 2001; Magurran 2005).

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

donde p_i es la proporción del número total de la especie i .

Los índices de biodiversidad concentran en un solo valor la riqueza específica y la equidad, es decir, que no permiten conocer la importancia relativa de sus componentes (riqueza y equidad). Para conocer la equidad es necesario calcular otros índices como el índice de Pielou.

V) Índice de Equidad de Pielou J' :

Este índice puede tomar valores desde 0 hasta 0,1. Su valor máximo corresponde a muestras cuyas especies son igualmente abundantes y mide la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada.

$$J' = \frac{H'}{H'_{max}}$$

donde $H'_{max} = \ln (S)$.

1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

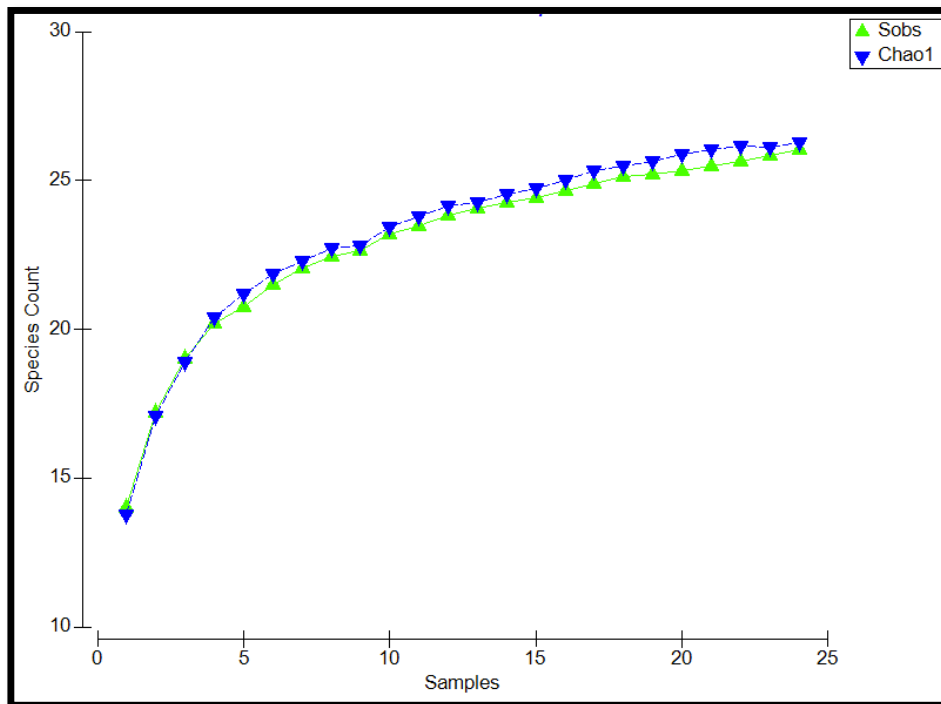
1.4.1 Características de los grampones

Durante los buceos realizados para obtener las muestras, se recolectaron 24 grampones de peso similar mediante apreciación visual. Sin embargo, durante el trabajo *in situ* es muy difícil medir el peso del grampón. Para asegurarnos que se podía descartar el peso como una variable explicativa, se realizaron tres análisis tipo ANOVA mediante el uso del programa estadístico R. Como resultado se aceptó la hipótesis nula, es decir que el peso de los grampones no fue significativamente diferente para los tres lugares ($p=0,087$; alfa 0,05, $gl=21$), para las 4 estaciones ($p=0,066$; alfa 0,05, $gl=20$) y tampoco en los dos años de muestreo ($p=0,060$; alfa 0,05, $gl=22$). Para cada una de las pruebas se realizó un test de Barlet con el objetivo de comprobar que las varianzas fueran homogéneas y un test de Shapiro para comprobar que la distribución de los errores fuera normal. En todos los casos se cumplieron los supuestos necesarios para que el modelo fuera válido.

1.4.2 Macrofauna asociada a los grampones de *M. pyrifera*

1.4.2.1 Curva de acumulación de especies

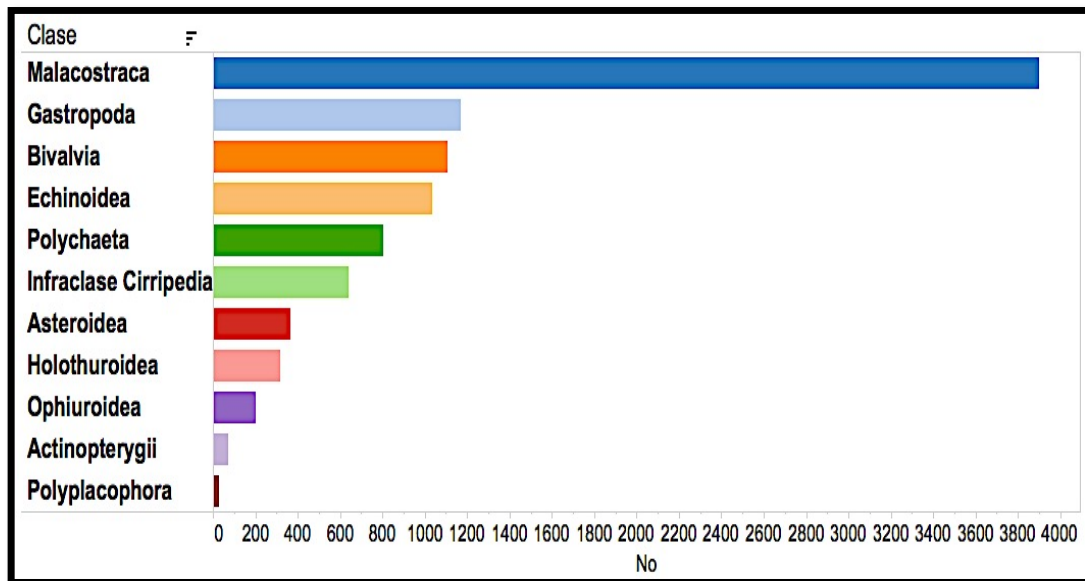
La curva de especies observadas y la curva del estimador Chao 1 fueron muy próximas, indicando que el número total de especies que contiene el lugar, se acerca al que actualmente se muestreó (ver materiales y métodos para más detalle). Sin embargo, si bien las curvas resultaron muy próximas entre sí, no se llegó a estabilizar la curva del número de especies. Esto indica que, si bien se colectaron suficientes muestras para tener una buena representación de la composición de especies asociadas al grampón, para futuros estudios se recomendaría tomar más muestras a fin de asegurar que la curva de especies se estabilice. (Gráfica 1.1).



Gráfica 1.1 Curva de acumulación de especies calculada mediante el estimador no paramétrico Chao 1. Sobs= especies observadas. En el eje x se representa el número de muestras y en el eje y se representa el número de especies.

1.4.2.2 Descripción de la macrofauna asociada a los grampones de *M. pyrifera*

En total se registraron 8103 individuos pertenecientes a 95 taxones que corresponden a 11 clases + 2 Phylum. Las clases más representadas en términos de abundancia y número de especies (Gráfica 1.2 y Tabla 1.1) fueron Malacostraca, Gastrópoda y Bivalvia. En términos de taxones los valores encontrados fueron: Malacostraca con 32, seguido de Gastropoda con 24, Bivalvia con 11, Polychaeta con 7, Polyplacophora, Actinopterygii y Holothuroidea con 4, Ophiuroidea junto con Asteroidea y Cirripedia con 2 y finalmente Echinoidea, y los Phyla Foraminifera y Nemertea con un taxón (Fotografía 1.2).



Gráfica 1.2 Abundancia de individuos en los grampones de *M. pyrifera* según los grupos taxonómicos

Como se mencionó en la introducción, el único trabajo previo que se encontró relacionado a la fauna asociada a los grampones de kelp en el Canal Beagle de Argentina, es el de Adami & Gordillo (1999). Al cotejar los resultados de ambos trabajos, se observa que los grupos faunísticos mejor representados fueron similares, no obstante, el número de taxones reportados fue mayor en nuestro estudio; se hallaron 27 taxones más y 35 especies que no habían sido reportadas previamente (Tabla 1.1).

Tabla 1.1 Taxones hallados en los grampones de *M. pyrifera* del Canal Beagle durante las épocas de muestreo. ✓ = especie no registrada en estudios anteriores; P = presente.

Taxón	Nuevo registro	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
Actinopterygii					
<i>Agonopsis chilensis</i>	✓			P	
<i>Careproctus pallidus</i>	✓				P
<i>Maynea puncta</i>	✓	P	P	P	P
<i>Patagonotothen cornucola</i>	✓	P	P	P	P
Asteroidea					
<i>Anasterias antarctica</i>		P	P	P	P
<i>Odontaster penicillatus</i>				P	P
Bivalvia					
<i>Aulacomya atra</i>		P	P	P	P
<i>Choromytilus chorus</i>	✓			P	
Familia Veneridae		P			
Familia Philobryidae					P
<i>Gaimardia trapesina</i>		P		P	P
<i>Hiatella arctica</i>		P	P	P	P
<i>Laternula</i> sp.	✓			P	P
<i>Nucula</i> sp.	✓	P	P	P	P
<i>Philobrya</i> sp.	✓		P	P	P
<i>Yoldiella capensis</i>	✓	P			
<i>Zygochlamys patagonica</i>					P
Echinoidea					
<i>Pseudechinus magellanicus</i>		P	P	P	P
Gastropoda					
<i>Ataxocerithium pullum</i>	✓		P	P	P
<i>Calliostoma</i> sp.	✓	P		P	P
<i>Crepidatella dilatata</i>		P			
Familia Cancellariidae				P	
Familia Drilliidae			P		
Familia Fissurellidae				P	
Familia Trochidae			P		
Familia Turridae					P
Familia Turritellidae		P	P		
<i>Fissurella oriens</i>	✓	P		P	P
<i>Fissurella picta</i>	✓	P			P
<i>Fissurella</i> sp.		P	P		P
<i>Margarella violacea</i>		P	P	P	P
<i>Meteuthria martensi</i>	✓	P	P	P	P
<i>Nacella deaurata</i>		P		P	P
<i>Nacella mytilina</i>			P	P	P
<i>Onoba fuegoensis</i>	✓		P		
<i>Argeneuthria cerealis</i>	✓	P			P
<i>Pareuthria plumbea</i>		P	P	P	P
<i>Savateria</i> sp.	✓	P		P	
<i>Siphonaria lessonii</i>			P		P
<i>Trophon geversianus</i>		P	P	P	P
<i>Trophon plicatus</i>	✓	P	P	P	P
<i>Xymenopsis muriciformis</i>		P	P	P	P
Holothuroidea					
<i>Neopsolidium convergens</i>	✓	P	P	P	P
<i>Pseudocnus dubiosus leoninus</i>	✓	P	P	P	P
<i>Psolus patagonicus</i>	✓	P	P	P	P
<i>Trachythione parva</i>	✓		P	P	P
Infraclase Cirripedia					
<i>Balanus laevis</i>	✓	P	P		
<i>Notobalanus flosculus</i>	✓	P	P	P	P
Malacostraca					
<i>Amphipodo indeterminado</i>				P	P

<i>Aora sp.</i>	✓	P	P	P	
<i>Austroregia huxleyana</i>		P		P	P
<i>Eurypodius latreillii</i>	✓	P		P	P
<i>Exosphaeroma gigas</i>				P	P
<i>Exosphaeroma lanceolatum</i>		P	P	P	P
<i>Exosphaeroma studeri</i>		P	P	P	P
Familia Calliopiidae			P	P	
Familia Corophiidae		P		P	
Familia Gammaridae					P
Familia Iphimediidae		P	P	P	P
Familia Lysianassidae 1		P	P	P	P
Familia Lysianassidae 2			P		
Familia Lysianassidae 3			P		
Familia Lysianassidae 4					P
Familia Phoxocephalidae		P	P	P	P
<i>Halicarcinus planatus</i>		P	P	P	P
<i>Heterophoxus sp.</i>	✓	P	P	P	
<i>Infraorden Gammarida</i>				P	
<i>Ischyromene sp.</i>	✓	P	P	P	P
<i>Lembos sp.</i>	✓	P	P	P	P
<i>Limnoria sp.</i>	✓				P
<i>Lithodes santolla</i>	✓				P
<i>Oradarea surera</i>	✓	P	P		
Orden Cumacea		P	P	P	P
Orden Tanaidacea			P		
<i>Pagurus comptus</i>		P	P	P	P
<i>Paralomis granulosa</i>	✓		P	P	P
<i>Peltarion spinosulum</i>				P	
Suborden Asellota		P			
Suborden Corophiidea 1			P		
Suborden Corophiidea 2			P		
Ophiuroidea					
<i>Ophiactis asperula</i>		P	P	P	P
<i>Ophiophragmus chilensis</i>		P	P	P	P
Phylum Foraminifera				P	
Phylum Foraminifera				P	
Phylum Nemertea				P	P
Phylum Nemertea				P	P
Polychaeta					
Clase Polychaeta					P
Familia Dorvilleidae		P	P	P	P
Familia Lumbrineridae		P			
Familia Nereididae		P	P	P	P
Familia Phyllodocidae				P	P
Familia Polynoidae		P	P	P	P
Familia Terebellidae			P	P	
Polylacophora					
<i>Callochiton puniceus</i>	✓	P		P	P
<i>Ischnochiton stramineus</i>	✓				P
<i>Plaxiphora aurata</i>			P	P	P
<i>Tonicia lebruni</i>		P			



Fotografía 1.1 Diferentes grupos taxonómicos hallados en los grampones de *M. pyrifera*

En los grampones de *M. pyrifera* se encontraron bien representados los principales grupos funcionales que constituyen un ecosistema estándar: herbívoros (ej: *P. magellanicus*), carnívoros (ej: *P. cornucola*, *A. antartica*) y detritívoros (ej: *P. plumbea*, *H. planatus*), más allá de los productores y los descomponedores que no fueron muestreados. Durante todas las estaciones y en los tres lugares, estuvieron presentes cada uno de los grupos funcionales.

En el caso del trabajo realizado por Ojeda & Santelices (1984) en los bosques de kelp circundantes a Puerto Toro e Isla Navarino en Chile, se obtuvieron 43 taxa y una sola especie de pez (*Notothenia cornucola*, actualmente *Patagonotothen cornucola*). Los grupos más representados fueron similares a los reportados en este estudio. Adicionalmente, Ríos et al. (2007) en dos sitios del estrecho de Magallanes, encontraron 114 especies asociadas a los grampones de *M. pyrifera*; es decir, 19 especies más que las halladas en este estudio.

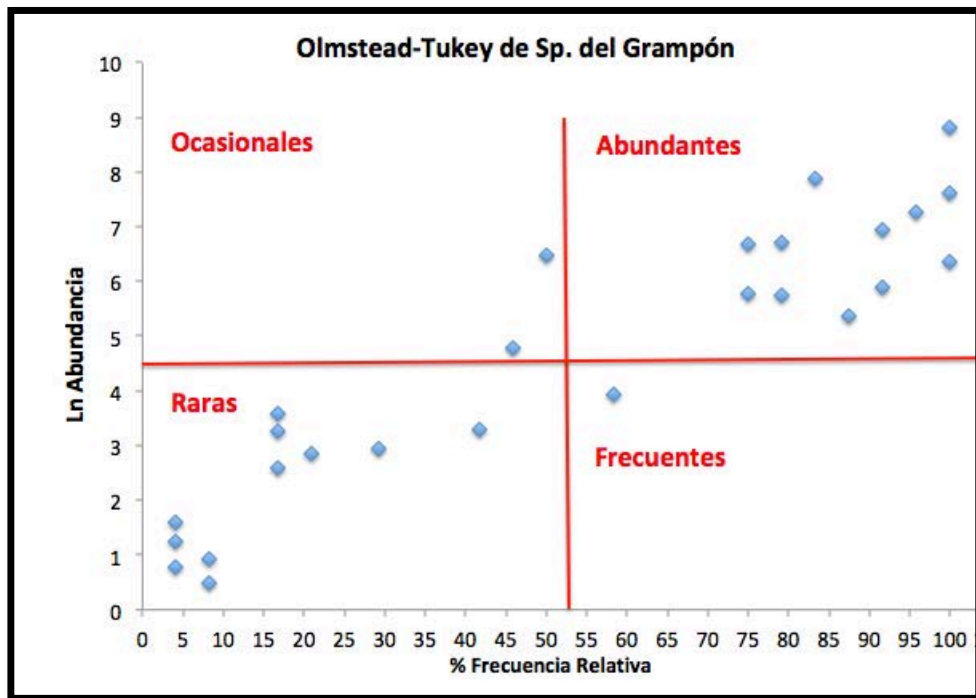
Es posible que el aumento en el número de taxa reportados en esta investigación en comparación al trabajo realizado por Adami & Gordillo

(1999), se pueda explicar, en parte, porque el tiempo de muestreo en esta tesis fue el doble, ampliando así las posibilidades de encontrar especies que no fueron capturadas previamente. De hecho, durante el segundo año de muestreo se encontraron 7 taxa más que no habían sido capturados durante el primer año: *Agonopsis chiloensis* (Actinopterygii), *Ischnochiton stramineus* (Polyplacophora), *Lithodes santolla* (Decapoda) y los gastrópodos *Crepidatella dilatata*, *Onoba fuegoensis*, *Siphonaria lessonii* y la Familia Turritellidae (ver Tabla 3). También podría explicarse por diferencias en la metodología ya que en el estudio de Adami & Gordillo (1999) el grampón era recubierto con posterioridad a su extracción, mientras que en nuestro estudio el grampón se recubrió previamente a la extracción, evitando así al máximo posible la pérdida de fauna asociada durante la extracción del grampón.

Para evitar errores numéricos relacionados a la identificación de individuos las especies de difícil identificación fueron agrupadas en sus taxa correspondientes; por ejemplo Peracaridos comprende: Calliopidae, Corophiidae, Gammaridae.

1.4.2.3 Jerarquización de la comunidad asociada al grampón

De acuerdo al diagrama de Olmstead-Tukey (Gráfica 1.3) el 46,15 % de los taxones fueron abundantes, un 42,30 % raros, una especie de caracol (*T. geversianus*) y los cirrípedos fueron representados como ocasionales (7,69 %), y en la categoría frecuentes se jerarquizó únicamente una especie de pez (*P. cornucola*) (3,84 %).



Gráfica 1.3 Diagrama de Olmstead-Tukey mostrando la jerarquización de taxones, halladas en el grampón de *M. pyrifera*

Dentro de las especies abundantes en el grampón se encuentran representados todos los grupos ecológicos funcionales. En general las especies clasificadas en esta categoría son especies que durante su ciclo de vida no sufren grandes cambios en su tamaño corporal, lo que les permite habitar el grampón durante toda su vida. Por otra parte, dentro de las especies raras se hallaron, por ejemplo: el pez *M. puncta*, la centolla *L. santolla* y el cangrejo *P. spinosolum*, entre otras especies cuyo tamaño corporal varía mucho durante la vida por lo que los estadios adultos difícilmente podrían encontrarse dentro del grampón. Al respecto, Smith et al. (1996) establece que el tamaño de los intersticios puede ser particularmente responsable por la predominancia de animales pequeños en los grampones y de igual manera Ojeda & Santelices (1984) documentan que la composición de la fauna se ve influenciada por el tamaño de los organismos y la disponibilidad de espacio en el grampón. En la siguiente tabla se especifican las especies halladas en cada una de las categorías (Tabla 1.2).

Tabla 1.2 Lista de taxones hallados en los grampones de *M. pyrifera* jerarquizadas según el diagrama de Olmstead-Tukey

OCASIONALES		ABUNDANTES	
Taxón	Especie/grupo	Taxón	Especie/grupo
Gastropoda	<i>T. geversanus</i>	Holothuroidea	Holothuridos
Cirripedia	Cirripedios	Malacostraca	<i>H. planatus</i>
RARAS		Malacostraca	<i>P. comptus</i>
Actinopterygii	<i>A. chiloensis</i>	Malacostraca	Peracaridos
Malacostraca	<i>L. santolla</i>	Gastropoda	<i>X. muriciformes</i>
Malacostraca	<i>P. spinosulum</i>	Asteroidea	<i>A. antartica</i>
Actinopterygii	<i>C. pallidus</i>	Echinoidea	<i>P. magellanicus</i>
Asteroidea	<i>O. penicillatus</i>	Gastropoda	Pequeños gastrópodos
Holothuroidea	<i>T. parva</i>	Gastropoda	<i>P. plumbea</i>
Malacostraca	<i>P. granulosa</i>	Gastropoda	<i>M. violacea</i>
Malacostraca	<i>E. latreilli</i>	Ophiuroidea	Ophiuras
Gastropoda	<i>T. plicatus</i>	FRECIENTES	
Actinopterygii	<i>M. puncta</i>	Actinopterygii	<i>P. cornucola</i>
Polyplacophora	Poliplacophora		

La búsqueda de refugio, alimento y un área de cría junto con las interacciones interespecíficas (competencia, depredación, etc.) probablemente juegan un rol importante en la generación de esta jerarquización. Sin embargo, puesto que hasta el momento no se estudiaron estas interacciones y no se encontraron trabajos específicos que estudien las mismas en los ensambles asociados al grampón esta es una afirmación meramente especulativa. Al respecto, Fjosne & Gjosaeter (1996) mencionan que la depredación por parte de los peces puede ser un factor significativo para la estructura de la fauna asociada al kelp y Adami & Gordillo (1999) señalaron que en los huirales de *M. pyrifera* el erizo *P. magellanicus* (clasificado como especie abundante en el estudio presente) constituye una presa importante para las especies de asteroideos que ocupan los grampones del alga. Dentro de los asteroideos *A. antartica*, clasificada como abundante, y el pez *P. cornucola*, clasificado como frecuente, podrían estar ejerciendo una cierta presión sobre *P. magellanicus*.

Dentro de las especies ocasionales se encuentran los cirripedios, que al igual que el grampón necesitan de una estructura sólida para fijarse. Es por ello que su presencia y abundancia se observó asociada a la presencia de rocas que quedaron rodeadas por los hapterios del grampón. Aunque un

grampón siempre está asociado a una estructura sólida, ésta por lo general, se encuentra como base de fijación, más solo ocasionalmente es posible encontrar rocas dentro del tejido formado por los hapterios.

Por otra parte, *P. cornucola*, como se explicará en el capítulo III, elige activamente el grampón para refugiarse y probablemente también para alimentarse. Los individuos de esta especie hallados dentro del grampón tenían un tamaño relativamente pequeño (< 6 cm). Sin embargo, se ha demostrado experimentalmente que los ejemplares de 9 y 10 cm usan los alrededores del grampón y los intersticios más grandes para refugiarse.

1.4.3 Peces asociados al grampón de *M. pyrifera*

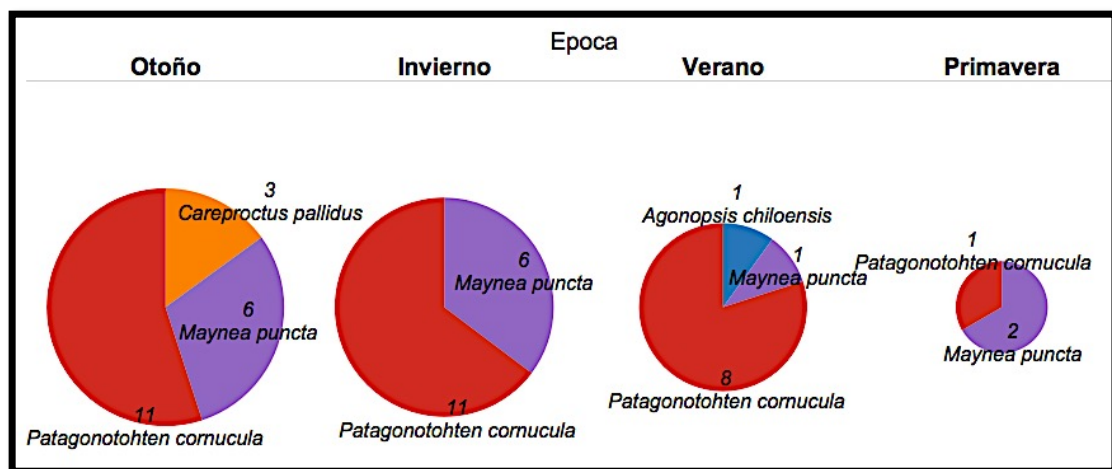
Puesto que este estudio está enfocado en los peces, inicialmente se presentan los resultados referidos a los ensambles ícticos asociados a los grampones de *M. pyrifera* y posteriormente se presentan los resultados relacionados a la macrofauna en general hallada en los grampones del kelp.

En total se capturaron 50 peces en los 24 grampones (Tabla 1.3). En todas las estaciones se encontraron el nototénido *Patagonotothen cornucola* y el zoarcido *Maynea puncta* en concordancia con los resultados de los experimentos de selección de hábitat multiespecíficos (capítulo II).

Tabla 1.3 Peces hallados en los grampons de *M. pyrifera*

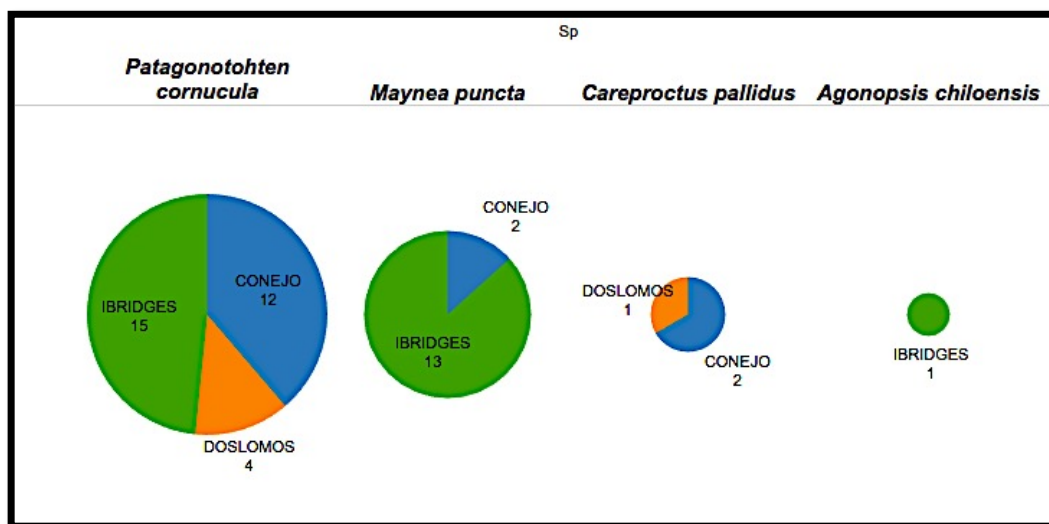
Época	Lugar	Año	No de Peces
Invierno	Conejo	2013	6
		2014	1
	Dos Lomos	2013	1
		2014	2
	Isla Bridges	2013	6
		2014	1
Otoño	Conejo	2013	3
		2014	3
	Dos Lomos	2013	2
		2014	0
	Isla Bridges	2013	3
		2014	9
Primavera	Isla Bridges	2013	3
		2014	0
	Dos Lomos	2013	0
		2014	0
	Isla Bridges	2013	0
		2014	0
Verano	Conejo	2013	3
		2014	0
	Dos Lomos	2013	0
		2014	0
	Isla Bridges	2013	3
		2014	4

El mayor número de peces se presentó durante el otoño y el mínimo durante la primavera (Gráfica 1.4). Las especies halladas fueron: *P. cornucula* (31 individuos); *Maynea puncta* (15 individuos); *Careproctus palidus* (3 individuos) y *Agonopsis chiloensis* (1 individuo).

Gráfica 1.4 Número de peces hallados en los grampones de *M. pyrifera* en el Canal Beagle

El género *Patagonotothen*, del cual forma parte *P. cornucola*, la especie de pez más abundante en los grampones, es presa de diversos predadores que habitan el Canal Beagle como el cormorán Imperial (*Phalacrocorax atriceps*) (Ferrari et al., 2004), la gaviota austral (*Larus scoresbii*) (Gandini et al., 2008) y la nutria de mar (*Lontra felina*) (Valenzuela et al., 2013). Los grampones de *M. pyrifera* cuentan con una estructura compleja gracias al entramado de los hapterios, lo cual permite que diversos organismos encuentren refugio de depredadores de gran tamaño.

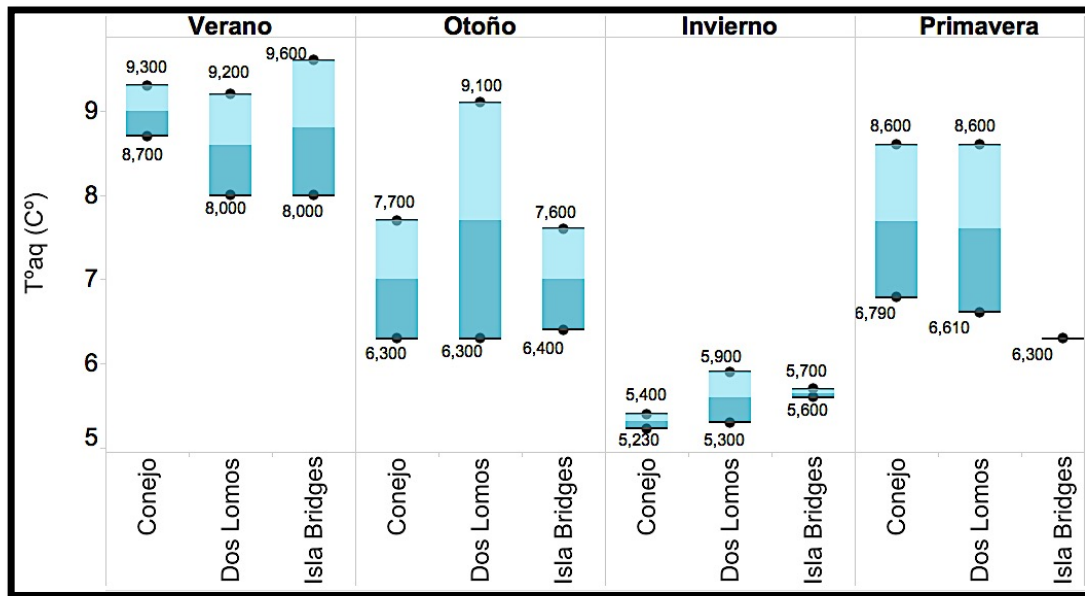
Tres de las cuatro especies de peces asociadas al grampón, se hallaron en Isla Bridges (Gráfica 1.5), la cual además presentó el mayor número de peces y la mayor abundancia de *P. cornucola*.



Gráfica 1.5 Distribución de las especies de peces asociadas a los grampones de *M. pyrifera* según los sitios muestreados

1.4.4 Parámetros ambientales

1.4.4.1 Temperatura



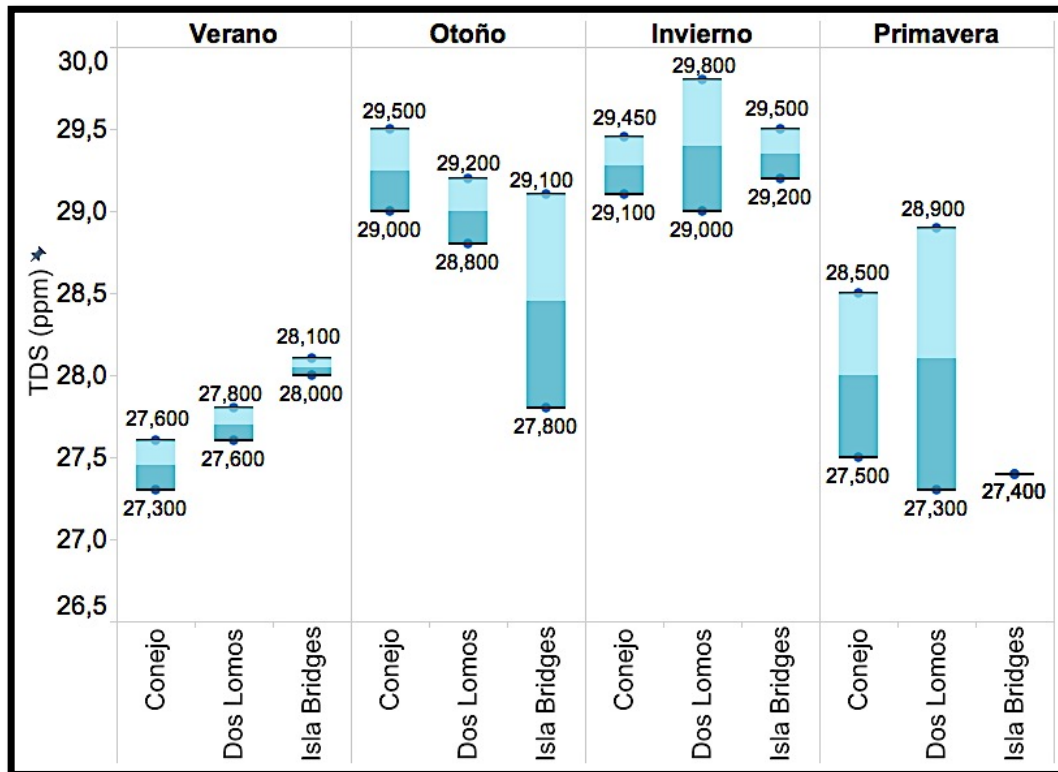
Gráfica 1.6 Temperatura del agua (°C) en los tres sitios de muestreo para las distintas épocas. Se muestran los valores extremos (bigotes) y los valores promedio (franja media de las cajas).

Estacionalmente, como era de esperarse, las temperaturas más bajas se alcanzaron en invierno (5,2°C) y las más altas durante el verano (9,6°C). La menor variación de la temperatura se presentó durante el invierno, seguido del verano. Mientras que durante el otoño y la primavera los valores medidos presentaron rangos más amplios (Gráfica 1.6).

En promedio Conejo presentó durante el verano y la primavera las temperaturas más altas y durante el invierno las temperaturas más bajas. En el caso de Dos Lomos, se registraron las temperaturas más altas en otoño. En Islas Bridges se registró la temperatura más alta en verano.

Las temperaturas fueron más altas en todas las estaciones durante el 2013, excepto por la de invierno de 2014 en Dos Lomos (0,6°C).

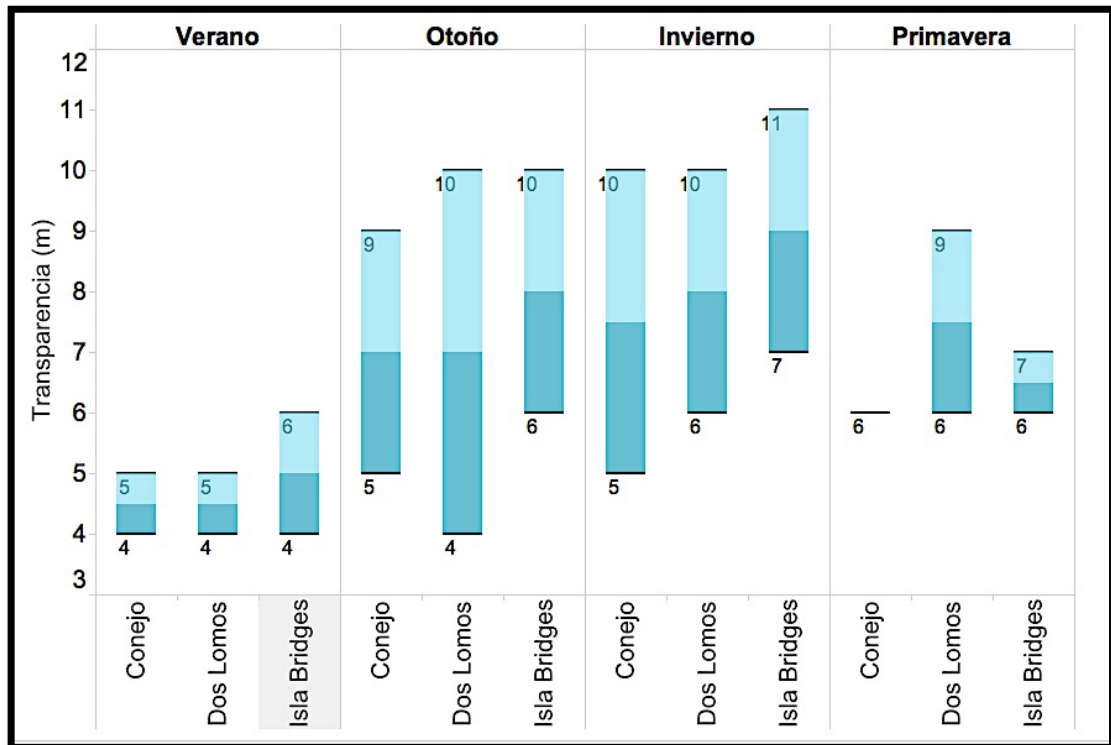
1.4.4.2 Salinidad



Gráfica 1.7 Variación de la salinidad de los tres lugares de estudio a través de las épocas de muestreo

Los valores más altos de salinidad se presentaron durante el segundo año de muestreo, lo cual coincide con los valores más bajos de temperatura. La salinidad presentó valores entre 27,3 y 29,8 ups, alcanzando los máximos valores durante el invierno y los mínimos en primavera (Gráfica 1.7). El hecho de que la mayor salinidad se presente en invierno, se explica por el menor aporte de agua dulce al Canal Beagle ya que en esa estación del año muchos cursos de agua se encuentran congelados. En la estación primaveral, cuando el Canal Beagle sufre un mayor aporte de agua dulce de deshielo, se aprecia mejor la diferencia de salinidad entre los dos años. Según Iturraspe & Urciuolo (2000) las crecidas en las cuencas de los ríos cordilleranos se manifiestan en la primavera.

1.4.4.3 Transparencia



Gráfica 1.8 Transparencia en metros a través de las estaciones en los tres sitios de muestreo

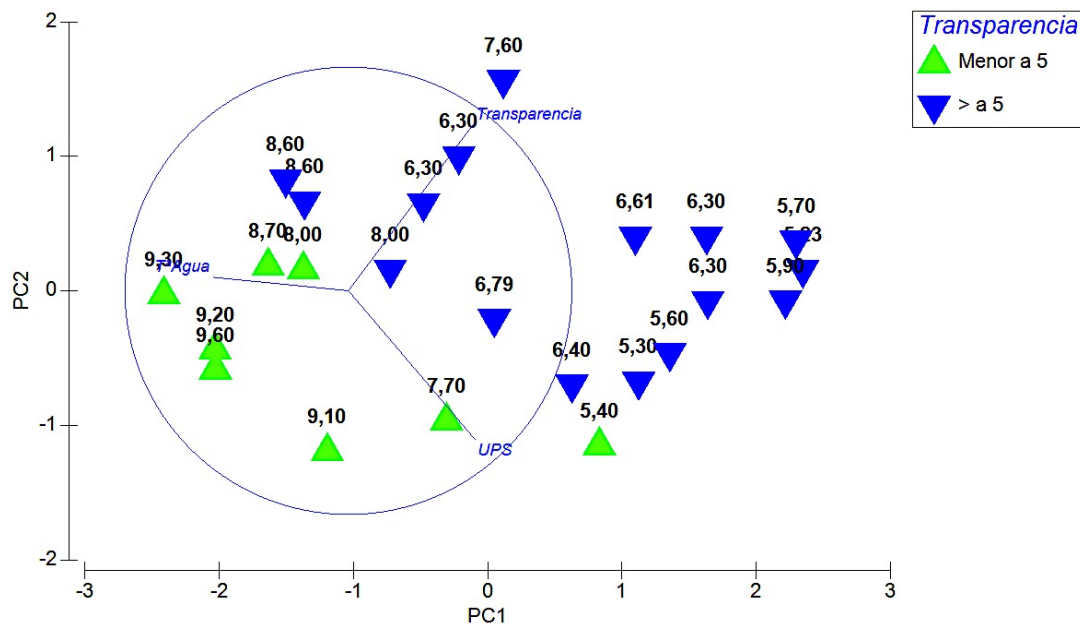
La transparencia en los tres lugares pareciera tener un patrón estacional, donde los valores mínimos se presentaron durante el verano (4m) y los valores máximos en la estación invernal (11m). En el año 2014 la transparencia fue mayor que en 2013 al igual que la salinidad, como ya mencionáramos, mostrando el patrón inverso al de la temperatura. Temperaturas más altas están más relacionadas con un mayor aporte de agua dulce, esto afecta la visibilidad debido a un mayor aporte de partículas en suspensión. En promedio, Isla Bridges es el sitio que presenta una mayor visibilidad (Gráfica 1.8).

1.4.4.4 Análisis multivariado de los parámetros ambientales

Los dos primeros ejes del PCA explicaron el 90 % de la varianza de los datos ambientales. El PC1 (74,6%) tiene la mayor correlación positiva con la temperatura (0,606), mientras tiene correlación negativa con la salinidad y la

transparencia (-0,568 y -0,558). Por su parte el PC2 (16%) se correlaciona positivamente con la salinidad (0,666) y negativamente con la temperatura y la transparencia (-0,060 y -0,743).

Como se observa en la gráfica 1.9 los muestreos que evidencian los valores más altos de temperatura son los mismos que presentan una transparencia menor a 5 m.



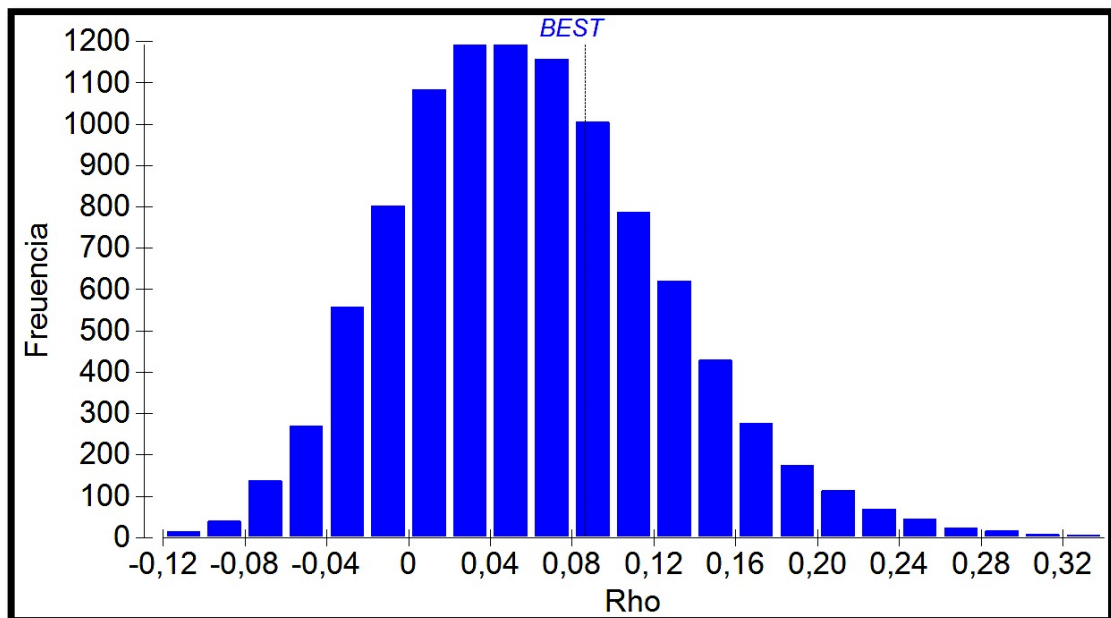
Gráfica 1.9 Análisis de componentes principales de los parámetros ambientales según la transparencia menor y mayor a 5 m. Los números en la gráfica corresponden a los valores de temperatura en °C

Posteriormente se realizó un PERMANOVA, para comprobar si hubo diferencia entre los factores (lugar, época, estrato y año). Como resultado se obtuvo que solamente el factor época presenta diferencias significativas ($p=0,002$), lo cual está relacionado con los cambios de temperatura del agua a través de las cuatro estaciones. Vale la pena resaltar la importancia de la temperatura del agua en la estructura comunitaria de los ensambles de peces asociados a los bosques de *M. pyrifera*. En este orden de ideas, el cambio climático global afecta los peces marinos a través de diferentes factores; uno de ellos es el calentamiento de los mares y océanos (Koenig et al., 2005). El cambio climático puede impactar la biodiversidad marina Antártica y subantártica, se podrían presentar extinciones locales al igual

que invasiones por parte de especies mejor adaptadas a las nuevas condiciones climáticas que tendrían esas regiones (Peck, 2005). Este trabajo aporta información de los cambios en la estructura comunitaria de los ensambles de peces y su relación con la variación de la temperatura asociada a cada una de las épocas (verano, otoño, invierno, primavera).

1.4.5 Vinculación de las diferencias en las comunidades biológicas con los patrones de las variables ambientales

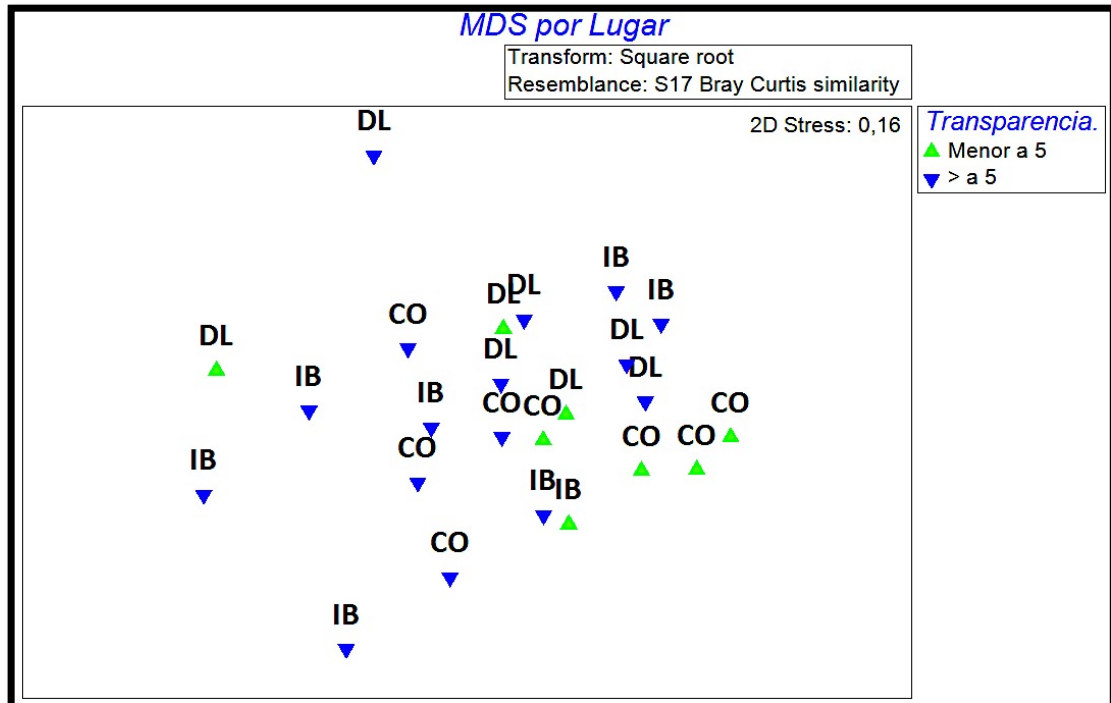
Mediante la rutina BEST+BIOENV (Clarke & Gorley, 2006) se analizó el conjunto de variables: salinidad (UPS), transparencia (m) y temperatura del agua (°C). Si bien la transparencia del agua fue la variable más fuertemente correlacionada con la comunidad del grampón (p real = 0,087), esta correlación no resultó estadísticamente significativa (Global BEST match permutación test, Gráfica 1.10).



Gráfica 1.10 Test de permutación global BEST (PRIMER V6+) donde se muestra el valor p real: 0,087 (líneas punteadas) y los p obtenidos por 999 permutaciones.

Dado que la transparencia fue la variable que mejor explicó la variabilidad de las muestras se procedió a analizar esta variable más a

fondo. Para visualizar los lugares que presentaron mayor y menor transparencia se realizó un MDS (Gráfica 1.11).



Gráfica 1.11 Análisis de escalamiento multidimensional con los sitios de muestreo. Transparencia del agua menor a 5 metros: triángulo verde y mayor a 5 metros: triángulo invertido azul. DL= Dos Lomos; CO= Conejo; IB= Isla Bridges

Isla Bridges durante casi todos los muestreos (excepto uno de verano) presentó una transparencia mayor a 5 metros, Dos Lomos en 3 de los ocho muestreos superó la transparencia de 5 metros y en el caso de Conejo no presentó un patrón claro de transparencia, fluctuó igualmente entre mayor y menor a 5 metros (Gráfica 1.11).

Para ver las especies que contribuyen fuertemente a las diferencias dadas por la variable transparencia, se realizó un SIMPER agrupando las muestras por debajo o por encima de 5 metros que era un valor intermedio. Los taxones que explicaron más de un 70% de la variabilidad y fueron más abundantes en transparencia menor a 5 son: peracaridos, poliquetos, ophiuras, holothuridos, el cangrejo *Pagurus comptus*, pequeños gastrópodos, el caracol *Margarella. violacea*, el erizo *Pseudoechinus magellanicus*, y en el caso de la transparencia mayor a 5: sólo los cirripedios. Los holothurideos sólo estuvieron presentes en las muestras de

transparencia menor a 5 mientras que el cangrejo *Halicarcinus planatus* estuvo presente exclusivamente en las muestras con transparencia mayor a 5 m. Además, los taxa fueron siempre más abundantes en las muestras de menos de 5m de transparencia.

La transparencia en el bosque de kelp se ve afectada por diferentes factores como la distribución y densidad de las frondes y la cantidad de materia orgánica e inorgánica en suspensión. La distribución y densidad de las frondes afecta la visibilidad bajo el dosel. Al igual que en un bosque terrestre, si el dosel se ve disminuido la cantidad de luz que puede penetrar en el bosque aumenta. La pérdida de dosel disminuye los refugios en el estrato superior y esto probablemente genera que muchos organismos migren hacia el grampón en búsqueda de refugio y alimento, generando un cambio en los ensambles asociados al grampón. En relación a esto Kevin & Todd (2010) hallaron que la distribución de las frondes influye en el reclutamiento de los peces asociados al bosque de *M. pyrifera*, y en concordancia Vanella et al. (2007) concluyeron que el nototenido *P. magellanica* se ve afectado por la remoción del dosel de *M. pyrifera*.

La transparencia también está relacionada con las partículas en suspensión como la materia orgánica e inorgánica. La materia orgánica aumenta en primavera-verano que es cuando las condiciones ambientales favorecen el aumento de la productividad, al mismo tiempo que la materia inorgánica aumenta por el aporte de los ríos al Canal.

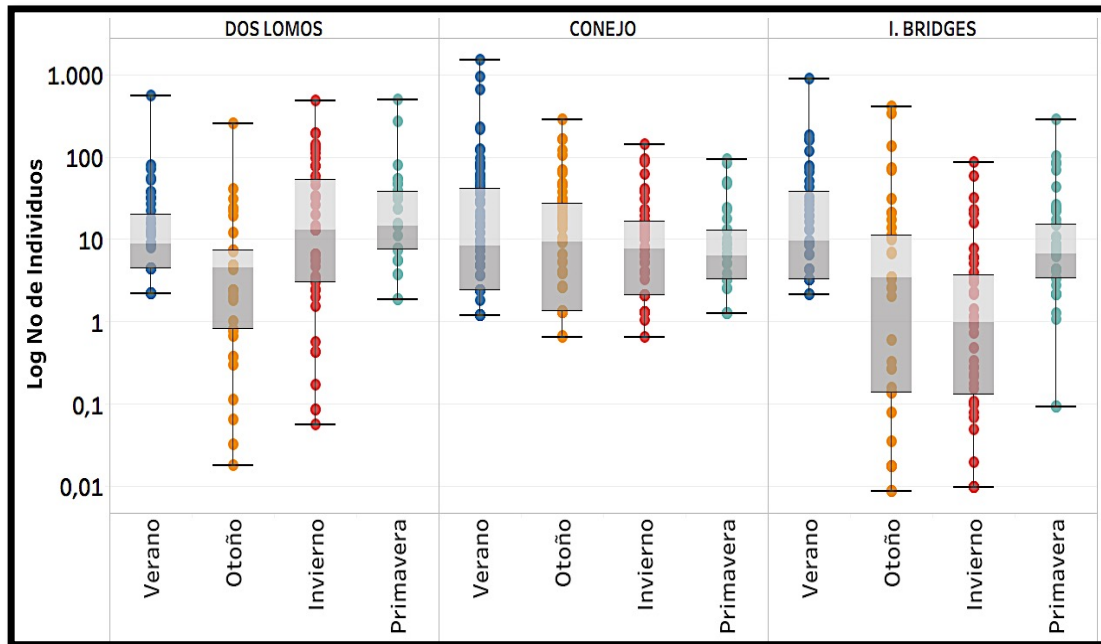
Conejo, el lugar de muestreo con menor transparencia fue el lugar donde se presentó una mayor abundancia (incluido el taxón de los cirripedios) mientras que Isla Bridges, con los mayores valores de transparencia, fue el lugar donde se presentó la menor abundancia.

1.4.6 Variación espacio-temporal de la macrofauna asociada a los grampones de *M. pyrifera*

1.4.6.1 Abundancia

La abundancia de los individuos asociados al grampón se presenta en la Gráfica 1.12. La gráfica se realizó en escala logarítmica para poder

visualizar más fácilmente los resultados, dado que se obtuvieron valores de magnitudes muy diferentes a lo largo de todo el período de estudio.



Gráfica 1.12 Abundancia de individuos asociados a los grampones de tres bosques de *M. pyrifera* en el Canal del Beagle

Como se puede observar, tanto isla Conejo como Dos Lomos presentan una menor variación en los valores de abundancia obtenidos. En el caso de Isla Bridges, se observa una disminución de la abundancia durante el otoño y el invierno. Según Jorgensen & Christie (2003) se esperaría que las comunidades asociadas al grampón fueran relativamente persistentes a través del año.

A fin de saber si la abundancia varió significativamente, se realizaron, en primer lugar, pruebas de homogeneidad de varianzas y de normalidad de los datos y en segundo lugar se procedió a probar la diferencia de medias mediante el test de Kruskal-Wallis. Como resultado se obtuvo que la abundancia (N) no fue significativamente diferente ($P=0,72$) entre sitios ni entre estaciones ($P=0,15$). Adami & Gordillo (1999), Ojeda & Santelices (1984) y Angel & Ojeda (2001) reportaron que durante la primavera la abundancia de invertebrados en el grampón de *M. pyrifera* fue significativamente superior que durante otras estaciones.

El aumento de la abundancia durante la primavera ha sido explicado por las migraciones reproductivas estacionales de los organismos dominantes de la comunidad del grampón. Ojeda & Santelices (1984) explican que el erizo *P. magellanicus*, el cangrejo *H. planatus* y la estrella *A. antártica* encuentran en el grampón un refugio y área de cría. Además, según Ríos et al. (2003) hay evidencias de reclutamiento de ejemplares de *P. magellanicus* a las poblaciones que ocupan los grampones de *M. pyrifera* en el estrecho de Magallanes. De tal manera que otros eventos como el reclutamiento pueden estar relacionados en los procesos que determinan la variación de la abundancia de las poblaciones asociadas a los grampones de *M. pyrifera* en el Canal del Beagle.

La dominancia del erizo *P. magellanicus* coincide con lo obtenido por Ríos et al. (2003) en Laredo y Fuerte Bulnes en el estrecho de Magallanes. Estos autores explican que existe un proceso de reclutamiento de juveniles de tipo diferencial según la localidad en donde estén emplazados los grampones de *M. pyrifera* y que existen variaciones geográficas en el éxito del reclutamiento. Es factible que la ausencia de erizos esté relacionada con la presencia de depredadores activos como asteroideos y peces (Ríos et al., 2003). Según nuestros resultados la mayor abundancia de peces en el grampón se presentó durante el otoño, época en que se observó la menor abundancia de individuos de la macrofauna en general, incluyendo al erizo *P. magellanicus*. Esto sugiere una presión de depredación por parte de los peces sobre la comunidad de macroinvertebrados asociada a los grampones y evidencia la importancia de esta estructura para la ictiofauna asociada a los bosques de *M. pyrifera* del Canal del Beagle.

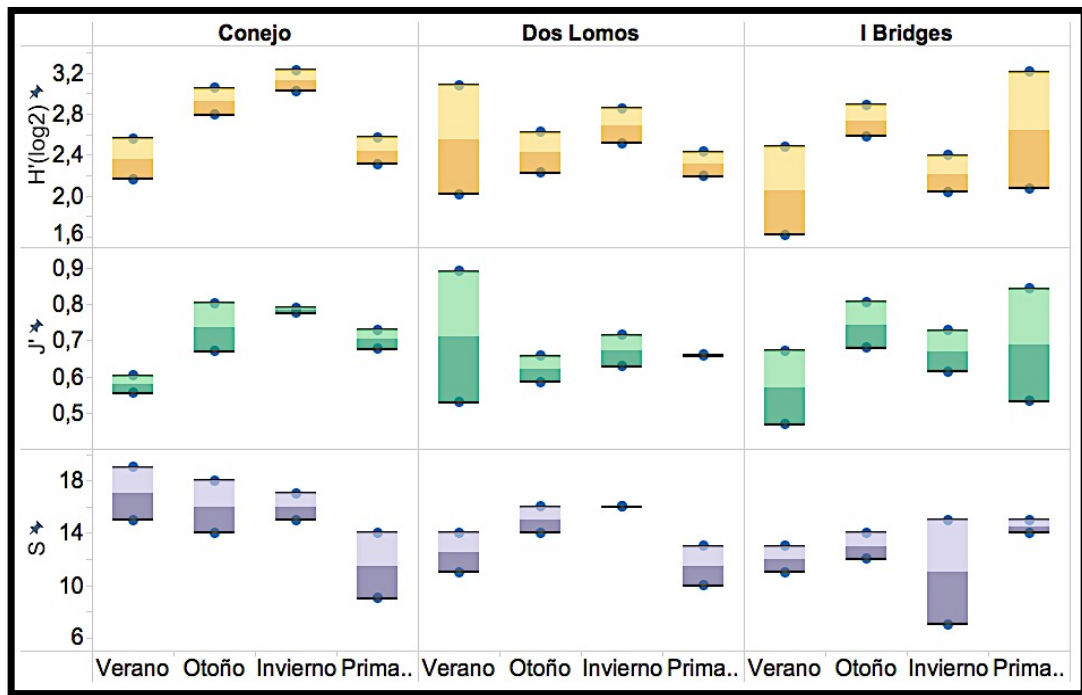


Fotografía 1.2 Masa de huevos en el interior de un grampón de *Macrocyctis pyrifera*

Siguiendo este orden de ideas, cabe resaltar que durante el desarrollo de este estudio se hallaron puestas de huevos de peces dentro del grampón en verano-primavera (Fotografía 1.2) al igual que individuos juveniles de *P. cornucola* y *M. puncta*.

1.4.6.2 Índices de biodiversidad

Los resultados de los índices de riqueza específica (S), el de equitatividad de Evenness de Pielou (J') y el de diversidad de Shannon-Wiener (H') se presentan en la Gráfica 1.13.



Gráfica 1.13 Índices de diversidad de la macrofauna asociada a los grampones de *M. pyrifera* según las épocas de muestreo y los tres sitios estudiados. Riqueza específica (S), Shannon-Wiener (H'), Equidad de Evenness (J').

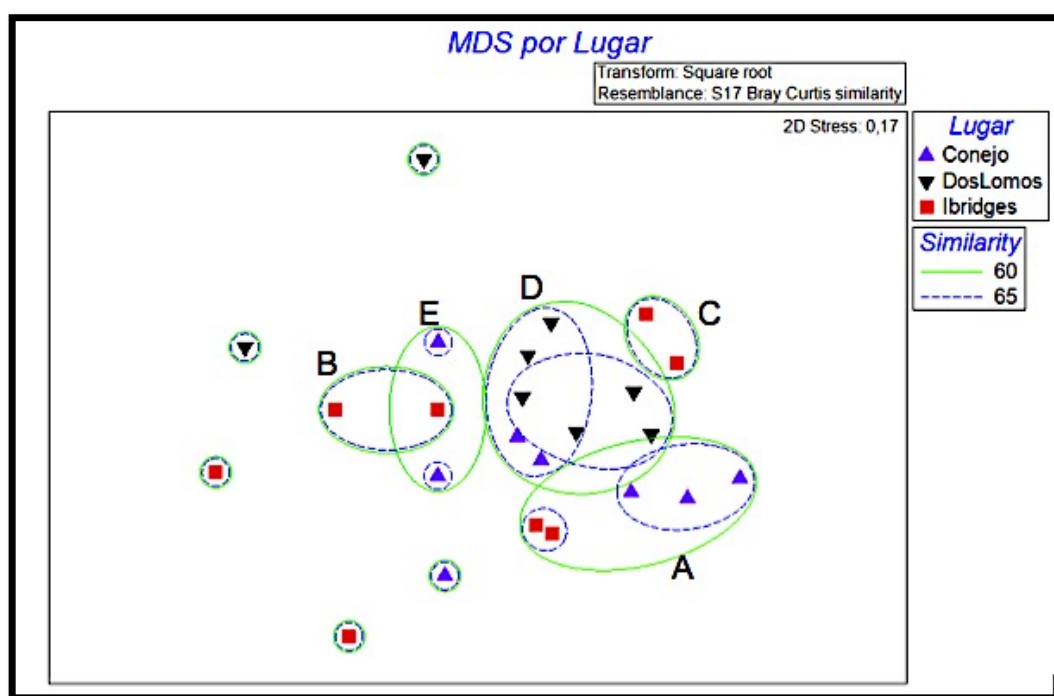
Ninguno de los índices resultó ser estadísticamente diferente ni entre sitios ni entre estaciones. Este resultado se obtuvo mediante un test de ANOVA. Sin embargo, Conejo presentó la mayor riqueza (S) y también el mayor número de individuos. Conejo es la isla más alejada de la línea de costa, lo cual puede favorecer un menor impacto antrópico de los efluentes arrojados al mar, impacto físico de botes, ruido, etc. En términos generales se cree que los ecosistemas menos alterados tienden a tener una mayor diversidad, debido a la heterogeneidad de hábitats presentes en contraposición a la homogenización estructural que sufren los ecosistemas intervenidos por el ser humano.

Si un bosque de kelp sufre, por ejemplo, un impacto físico por parte de los botes y pierde frondes y/o los grampones son desprendidos de los sustratos, la complejidad estructural del bosque se ve disminuida: con la pérdida de las diferentes partes de la macroalga se pierde también la heterogeneidad de refugios que esta ofrece. En el caso de una mayor exposición a ruidos, recientes estudios han demostrado un amplio rango de efectos negativos en una variedad de taxa (Williamsab et al., 2015).

La época con los valores más altos de diversidad fue el otoño junto con el invierno, concordando con el trabajo realizado por Adami & Gordillo (1999) y el de Ríos et al. (2007), donde la mayor diversidad (Shannon-Wiener) se presentó durante estas mismas dos estaciones, mientras que los valores más bajos se presentaron durante la primavera. Es importante mencionar que durante las estaciones que presentaron una menor abundancia (otoño e invierno, Gráfica 1.12) la comunidad presentó la mayor diversidad.

1.4.6.3 Visualización de la comunidad asociada al grampón a través de la agrupación y la ordenación de las muestras

Los resultados de la representación de las comunidades para cada campaña de muestreo (un grampón por muestreo) teniendo en cuenta todas las especies, mediante un MDS con un análisis de CLUSTER superpuesto se presentan en la Gráfica 1.14.



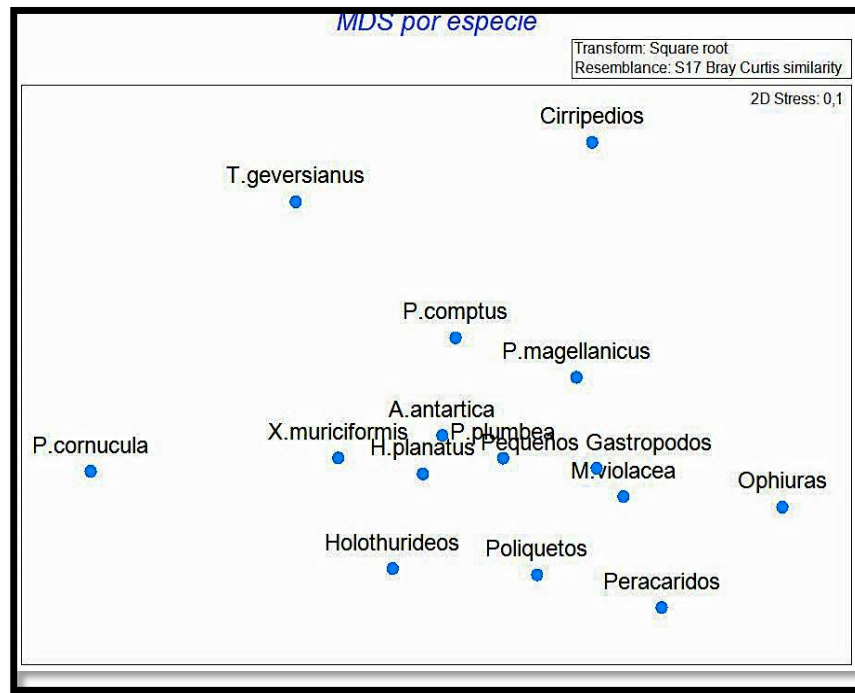
Gráfica 1.14 Análisis de escalamiento multidimensional de las 24 campañas de muestreo, según los tres lugares estudiados: Dos Lomos, Conejo e Isla Bridges

Se obtuvo un valor de estrés de 0,17 que es considerado potencialmente útil (por ser menor a 0,2). La disposición de las muestras parece indicar una similitud entre lugares. Con valores de similitud del 60%

se obtuvieron 5 grupos además de algunas muestras particulares. El grupo **A** está compuesto por tres muestras pertenecientes a Conejo y dos muestras tomadas en Isla Bridges que son más similares entre sí (similitud 65%) que con las muestras de Conejo. Los grupos **B** y **C** están compuestos por muestras tomadas en Isla Bridges. El grupo **D** es el que comprende la mayoría de las muestras y agrupa Dos Lomos y Conejo durante diferentes estaciones, pero no incluye ninguna muestra de Isla Bridges. Cabe resaltar que dentro de este grupo hay dos muestras de Conejo que son más similares entre sí (65%) que con el resto del grupo **D** (60%). Finalmente, el grupo **E** comprende una muestra de Isla Bridge y dos muestras de Conejo (65%).

Resumiendo, según el MDS, las muestras tomadas en Conejo comparten más características con las muestras tomadas en Isla Bridge que con aquellas tomadas en Dos Lomos. Además, las muestras tomadas en Conejo tienden a ser más similares entre sí que las tomadas en las otras dos islas, y finalmente las muestras de Dos Lomos parecen diferir de las de Isla Bridge y Conejo, más que estas dos últimas entre sí. Estos resultados concuerdan con la distancia entre las islas, Dos Lomos es la isla más alejada de las demás y Conejo e Isla Bridges son más cercanas entre sí.

Además, se realizó otro MDS, para visualizar la relación entre las muestras, según los taxa (Gráfica 1.15).



Gráfica 1.15 Análisis de escalamiento multidimensional según los taxones presentes en los grampones de *M. pyrifera*

Los depredadores de mayor tamaño como el pez *P. cornucula* y el caracol carnívoro *T. geversianus* ocurren separadamente de las otras especies. Además, los cirripedios también se alejan de la mayoría de las muestras, se observó que este grupo siempre estuvo acompañado de la presencia de pequeñas rocas dentro del grampón. Por lo tanto, en algunos casos se registró una gran cantidad de individuos de este taxón y en otros casos ninguno (Gráfica 1.15).

1.4.6.4 Identificación de las principales especies responsables de determinar las agrupaciones de las muestras

Tabla 1.4 Taxones discriminantes por lugar según el análisis estadístico no paramétrico SIMPER

	Dos Lomos	Conejo	Isla Bridges	Especies menos abundantes
Dos Lomos		Peracaridos Poliquetos Ophiuras Holothuridos <i>M. violacea</i> <i>H. planatus</i>		No se repite ninguna especie
Conejo	Cirripedios <i>P. magellanicus</i>		<i>P. magellanicus</i>	No se repite ninguna especie
Isla Bridges	Cirripedios <i>P. comptus</i> Peracaridos Ophiuras Pequeños gastrópodos <i>T. geversianus</i> Poliquetos <i>P. magellanicus</i>	Peracaridos Poliquetos Pequeños gastrópodos <i>H. planatus</i> Holothuridos Ophiuras <i>A. antarctica</i> <i>P. comptus</i>		<i>P. comptus</i> Peracaridos Ophiuras Pequeños gastrópodos Poliquetos
Especies más abundantes	Cirripedios <i>P. magellanicus</i>	Peracaridos Poliquetos Ophiuras Holothuridos <i>M. violacea</i> <i>H. planatus</i>	No se repite ninguna especie	

La tabla 1.4 presenta los resultados del estudio de la composición de la comunidad según el sitio de muestreo (Dos Lomos, Conejo, Isla Bridges) y la estación del año (primavera, verano, otoño e invierno) y Utilizando un SIMPER con un diseño de dos vías anidado las especies que en promedio contribuyeron mayormente a las diferencias entre las estaciones del año y al sitio de muestro fueron cuantificadas y clasificadas de acuerdo a la metodología descrita por Clarke & Warwick (2001). Las columnas de la

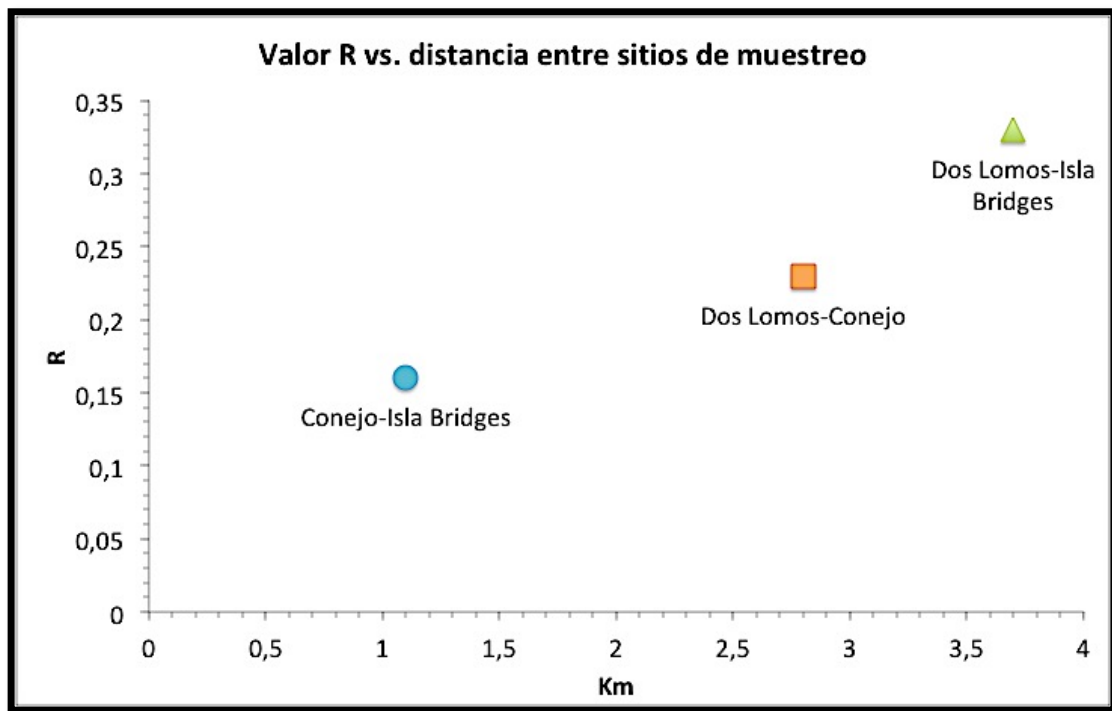
tabla corresponden a los grupos más abundantes por lugar y las filas a los grupos de menor abundancia, (Jaureguizar et al., 2004; Jaureguizar et al., 2006). Solamente se tuvieron en cuenta aquellos taxones que contribuyeron al menos en el 70% de la disimilitud. Las especies resultantes de las columnas verticales, son aquellas que mayormente contribuyen a discriminar a cada uno de los lugares, puesto que son las más abundantes en relación a los otros sitios de muestreo. Así, por ejemplo, el taxón cirripedios y el erizo *P. magellanicus* hacen que Dos Lomos se diferencie de los otros dos lugares. En el caso de Isla Bridges no se encontró ningún taxón particularmente abundante en comparación a los otros sitios de muestreo. Sin embargo, se diferencia de las otras islas en que varios grupos: pequeños gasterópodos, poliquetos y peracáridos son poco abundantes, y además porque en esta isla se halló el mayor número de peces. Por otra parte, la isla Conejo tiene al menos 6 taxones que son especialmente abundantes (Tabla 1.4).

1.4.6.5 Pruebas estadísticas para las diferencias espacio-temporales de los ensambles de macrofauna

Según el nested-ANOSIM no hubo diferencias significativas entre las estaciones del año ($p=0,78$) pero si entre los sitios de muestreo ($p=0,005$). Esto concuerda con el MDS y con las gráficas de abundancia según época y sitio, puesto que en estas dos representaciones no se observaba un patrón de asociación por época, pero si por lugar. En nuestro estudio se observa que los tres lugares comparten un conjunto de especies. Sin embargo, las diferencias principales son atribuidas a algunas especies más abundantes en un lugar, por ejemplo: cirripedios y *P. magellanicus* en el caso de Dos Lomos.

Los valores de los *R particular* de las comparaciones pareadas: Conejo-Isla Bridges (0,16), Dos Lomos-Conejo (0,23) y Dos Lomos-Isla Bridges (0,33) (Gráfica 1.16). Los valores de *R* cercanos a cero indican poca diferencia en la composición de especies, mientras que los valores cercanos a 1 indican composiciones de especies muy diferentes (Jaureguizar et al.,

2015). Como se observa en la Gráfica 1.16 a mayor distancia entre los sitios de muestreo; mayor valor del R particular. Por ejemplo, Dos Lomos e Isla Bridges son los sitios de muestreo más distantes entre sí (3,7 Km) y también los que presentaron una similitud menor según el valor del R particular obtenido de la comparación pareada de estos dos sitios.







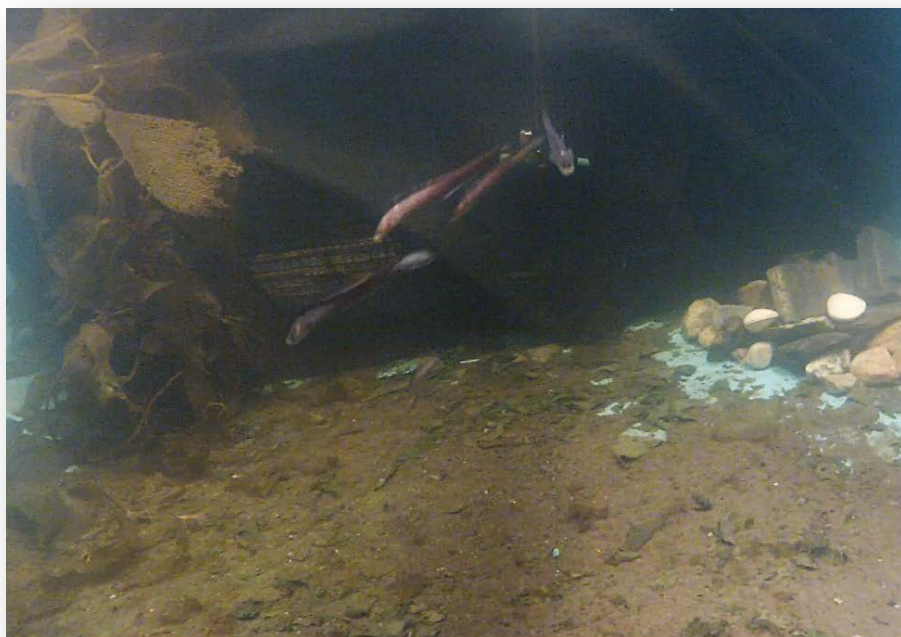
Gráfica 1.16 En esta gráfica se aprecia la relación de la distancia en Km entre los sitios de muestreo y la tendencia del R particular

1.5 CONCLUSIONES

- 🐟 En comparación con trabajos realizados anteriormente en Argentina en el Canal Beagle se registraron 27 taxones más y 35 especies que no habían sido reportadas anteriormente.
- 🐟 Los grupos mejor representados de los ensambles de macrofauna asociados al grampón de *M. pyrifera* fueron: Malacostraca, Gastrópoda, Bivalvia, Echinoidea y Polychaeta.
- 🐟 El grampón de *M. pyrifera* proporciona hábitat a diferentes grupos funcionales que están representados a lo largo de las cuatro

estaciones, lo cual evidencia la importancia de esta estructura en el funcionamiento de la compleja red trófica del bosque de kelp.

-  Durante todas las estaciones del año y en los tres sitios de muestreo se hallaron peces dentro de los grampones de *M. pyrifera*. Isla Bridges fue el lugar donde se halló la mayor abundancia y la mayor riqueza específica.
-  La transparencia fue la variable que mejor explicó la diferencia entre los ensambles asociados a los grampones, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa.
-  Si bien no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre las estaciones, durante el otoño e invierno se halló el mayor número de especies presentes en el grampon de *M. pyrifera*
-  La fauna asociada a los grampones de *M. pyrifera* de tres islas del Canal Beagle varía en términos de abundancia, siendo el verano y la primavera las estaciones con mayor número de individuos presentes, lo cual coincide con estudios previos. Sin embargo, esas diferencias no fueron estadísticamente significativas.



Zoarcidos *Maynea puncta* en el experimento de selección de microhábitats

2. CAPÍTULO II: Selección de microhábitat por parte de tres especies de peces subantárticos asociados a los bosques de *Macrocystis pyrifera*

2.1 INTRODUCCIÓN

La heterogeneidad de hábitat incluye un amplio rango de variables ambientales (ej. composición del fondo, tamaño de grano, presencia de estructuras bióticas formadoras de hábitat, entre otras). Estas variables tanto en conjunto como separadamente influyen en la relación entre los organismos y su ambiente (Pérez-Matus & Shima, 2010). Estudiar la relación entre la fauna marina y la heterogeneidad del hábitat es de suma importancia ya que la pérdida de la heterogeneidad es una de las principales consecuencias de las actividades antropogénicas. La homogenización del hábitat por las actividades humanas está frecuentemente correlacionada con

una progresiva disminución de la diversidad biológica (Loreau et al., 2004). Como comenta Fuhlendorf et al. (2006), el estudio, la protección y el mejoramiento de la heterogeneidad del hábitat es básica para la conservación y manejo de las comunidades ecológicas.

En ambientes marinos templados no muy profundos, son las macroalgas las que proveen la mayor parte de la heterogeneidad del hábitat en el fondo (Ebeling & Hixon, 1991) e influyen en la organización espacio-temporal de los ensambles faunísticos. Así, por ejemplo, la vegetación espesa del dosel de los bosques de kelp es permeable para animales pequeños o con la forma apropiada para habitar en ella, mientras que los animales más grandes o con formas no aptas para esa estructura quedan físicamente excluidos (Lima & Dill, 1990). De la misma manera funciona la estructura tridimensional del grampón para otras especies, como ya mencionamos en el capítulo anterior de esta tesis.

En el Canal Beagle los bosques de kelp están constituidos principalmente por la macroalga *M. pyrifera* que es considerada una especie formadora de hábitat (Pérez-Matus, 2010) y por ende es un componente crucial de la heterogeneidad del ecosistema marino. En este sentido, se ha descrito que las distintas partes de las macroalgas (grampón, estipe y frondes) son utilizadas diferencialmente por una especie o grupo de ellas en distintos estadios del ciclo de vida (Anderson, 1994) y/o en el mismo estadio para diversos propósitos (Christie et al., 2007).

Hablando específicamente de Por ejemplo, las frondes pueden ser usadas como refugio y los grampones como sitios de alimentación. Esto conduce a que las diferentes partes de las macroalgas puedan actuar separadamente o en sinergia con otras variables para moldear los patrones de distribución y abundancia de los peces.

En este orden de ideas, Pérez-Matus & Shima (2010), mediante experimentos manipulativos conducidos en laboratorio, concluyeron que dos especies de peces de aguas templadas distinguen y exhiben preferencias por tres especies de macroalgas (una de ellas era *M. pyrifera*) que presentan diferentes formas. En los experimentos que condujeron en campo, encontraron que la abundancia de los peces varió en función de la heterogeneidad de hábitat. Así mismo, Vanella et al. (2007) reportó que el

principal efecto de la remoción del dosel de *M. pyrifera* fue una disminución en la biomasa total de una de las especies asociadas al bosque: *Paranotothenia magellanica*, probablemente debido a la reducción de refugios disponibles.

Teniendo en cuenta los antecedentes mencionados, en este estudio se optó por realizar un experimento manipulativo en laboratorio a fin de esclarecer las preferencias de hábitat de tres especies de peces subantárticos, y evaluar cómo responden a los diferentes componentes de la heterogeneidad del ecosistema formado por *M. pyrifera*.

Las tres especies elegidas para realizar los experimentos fueron: *Maynea puncta*, *Patagonotothen cornucola* y *Harpagifer bispinis*. Las dos primeras fueron las más abundantes en el gramón y *H. bispinis* es una especie común en el intermareal cercano a los bosques y de tamaño similar a las anteriores.




Maynea puncta conocida hasta hace unos años como *Maynea patagonica* es una especie perteneciente a la familia zoarcidae. Esta familia está bien representada con 17 géneros y 25 especies en el hemisferio sur y específicamente en la región patagónica (Gosztonyi, 1977). Se distribuye desde la zona intermareal hasta aguas más profundas incluyendo la zona abisal (Marcinkevicius & Gosztonyi, 2013). La mayoría de zoárcidos son ovíparos (a excepción de las tres especies del género *Zoarces*) y algunos presentan cuidado parental (Nelson et al., 2016). En cuanto a la preferencia de hábitat, tanto Kuhnemann (1970) en Lloris & Rucabado (1991) como López-Gappa et al. (1982) mencionan la relación de *M. puncta* con el alga *M. pyrifera*. Sin embargo, no se halló ningún estudio experimental acerca de la preferencia de hábitat de esta especie.

En cuanto a *Patagonotothen cornucola* es una especie que no supera los 13 cm de longitud total y que habita las áreas intermareales menores a 15 m de profundidad a lo largo del extremo Sur de Suramerica (Lloris & Rucabado, 1991; Hüne & Ojeda, 2012; Reyes & Hüne, 2012). Más específicamente su límite de distribución va desde los 41 °S hasta los 55 °S (Fernández et al., 2009). En relación a su ciclo reproductivo, al igual que *H. bispinis* tiene dos periodos de reproducción al año: durante el invierno y durante el verano austral (Rae & Calvo, 1995a). *P. cornucola* se alimenta de

algas, poliquetos, gasterópodos, pequeños crustáceos, anfípodos e isópodos como *Exosphaeroma gigas* y además de gammaridos e individuos de la familia Tanaidae (Lloris & Rucabado, 1991), muchos de estos grupos reportados en los grampones analizados en esta tesis. Existe una diferencia significativa en la dieta de *P. cornucola* según el tamaño de los individuos, sugiriendo una posible partición alimentaria entre los diferentes estadios de vida (Hüne & Vega, 2016).

H. bispinis es un pez demersal que no supera los 10 cm de longitud total y está distribuido en los océanos Atlántico y Pacífico Sur: estrecho de Magallanes, en el sur de Chile, Argentina, en la Región Patagonia, Islas Malvinas e Islas subantárticas (Robins, 1991). Lloris & Rucabado (1991) explican que es relativamente común encontrarlo en la zona intermareal del Canal Beagle en Tierra del Fuego. La especie *H. bispinis* también se caracteriza por ser un pez críptico cuya coloración varía ampliamente, lo cual le permite permanecer apenas visible en su hábitat. Esta especie ha sido recientemente estudiada dentro del marco de la evolución de la fauna marina antártica por Hüne et al. (2015) quienes explican que la separación filogenética entre *H. bispinis* y *Harpagifer antarticus* puede estar relacionada con un proceso reciente de dispersión desde Antártica hacia Sur América y que este proceso de dispersión se vio favorecido por la larga fase larval de esta especie. En relación a su comportamiento se sabe que es un depredador de emboscada (conocido en inglés como *sit-and-wait predators*) altamente especializado en sus hábitos alimentarios limitando su dieta a anfípodos y poliquetos escamosos (Showers et al., 1977 en Daniels, 1978). En referencia al uso de hábitat Hureau & Louis (1978) en (Lloris et al., 1996) exponen que no se descarta la idea de que *H. bispinis* deposita sus huevos sobre las masas de algas de *M. pyrifera* y que éstas al ser transportadas por las corrientes marinas podrían contribuir a su dispersión.

2.2 OBJETIVOS

-  Determinar la importancia relativa de diferentes componentes de la heterogeneidad de hábitat del bosque de *M. pyrifera* para tres especies asociadas a ese ecosistema.
-  Estudiar si las tres especies de peces subantárticas difieren en sus respuestas frente a diferentes elementos de la heterogeneidad de hábitat del bosque de *M. pyrifera*.
-  Comprender si la selección de hábitat se ve modificada según la presencia de otros individuos de su misma especie y/o de otras especies.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Diseño de muestreo

Se acondicionó un tanque cuadrado con los siguientes hábitats, uno en cada esquina para que estuvieran equidistantes: a) frondes de *M. pyrifera* que abarcaban toda la columna de agua; b) grampónes de *M. pyrifera*; c) rocas y d) control: porción sin rocas, ni ninguna parte de la macroalga. Adicionalmente, dentro del estanque se implementó un sistema de video con dos cámaras de filmación submarina de alta definición y amplio campo de visión (GoPro HD-Hero2-outdoor edition, campo de visión panorámico 170°; resolución 1080p:1920 X 1080; 30 FPS), una enfrente de la otra a fin de grabar y visualizar el 100 % del área del estanque.

Se realizaron tres tipos de experimentos:

2.3.2.1 *Experimento individual*

Un individuo fue liberado en el centro del tanque. Su comportamiento fue observado y registrado mediante video submarino durante 60 minutos. Tanto en el momento cero (de liberación) como 60 minutos posterior a este

se registró su presencia o ausencia en cada uno de los hábitats. Esta operación se repitió para 10 ejemplares de cada especie.

El experimento individual se realizó para las tres especies mencionadas y se registró para los intervalos de tiempo: 1 minuto y 1 hora. No se realizó para las 24 horas debido que al ser 10 individuos por 3 especies se necesitarían mínimo 40 días seguidos para realizar el experimento. Realizar este experimento en 40 días implicaría que los peces empleados al inicio del experimento estuvieran acondicionados durante 48 horas y los del final del experimento hubieran permanecido en un acuario por 30 días. Esta diferencia sería una variable que no se deseaba incluir en el experimento. De igual manera hubiera sucedido con las horas luz a la que los peces estuvieran expuestos. En Ushuaia (54 °S) durante el verano cada día hay una diferencia importante en las horas luz; lo cual generaría que al final del experimento, el individuo número 1 hubiera tenido una diferencia considerable en las horas luz a las que hubiera sido expuesto en comparación con el individuo número 30.

También es importante mencionar, como parte de las características experimentales, que frondes fue el único microhábitat que ocupaba desde el fondo del tanque hasta la superficie del mismo. Sin embargo, puesto que el tanque no era muy profundo (menos de 1,20 m), cuando se registra un individuo en este microhábitat se hace referencia a que se posicionó en la parte del acuario donde estaban presentes las frondes de *M. pyrifera* (Fotografía 2.1), aunque no es posible catalogar esa selección dentro de las categorías columna de agua o fondo.



Fotografía 2.1 Frondes de *Macrocystis pyrifera* en el experimento de selección de microhábitat

2.3.2.2 Experimento grupal monoespecífico

Se liberaron simultáneamente 5 individuos de la misma especie. Su comportamiento y preferencia de hábitat fueron registrados y grabados mediante video submarino en el momento de la liberación, después de una hora y a las 24 horas. Este proceso se replicó con otro grupo de 5 individuos.

2.3.2.3 Experimento grupal multiespecífico

Cinco individuos de cada una de las tres especies de peces, es decir un total de 15 individuos, fueron liberados simultáneamente. Su comportamiento fue registrado y grabado al momento de la liberación, después de una hora y al cabo de las 24 hs en los hábitats existentes en el experimento.

2.3.2 Trabajo de campo

2.3.2.1 Obtención de las muestras

Los peces de las tres especies destinados a este experimento se recolectaron conjuntamente durante el verano austral en el Canal Beagle

durante la bajamar. Debajo de las rocas relativamente expuestas se capturaron 10 ejemplares por especie, de las siguientes medidas de longitud total: *M. puncta* entre 12 y 15 cm Lt; *H. bispinis* entre 6 y 8 cm Lt y *P. cornucola* entre 9 y 10 cm Lt. Los peces fueron capturados mediante una red de acuario (1 cm de malla) e inmediatamente puestos en agua de mar y trasladados lo más rápidamente posible al laboratorio para minimizar el estrés que pudieran sufrir durante este proceso. La macroalga *M. pyrifera* usada en el experimento se colectó junto con la epifauna asociada en uno de los parches de bosque del Canal Beagle elegido al azar. La recolección se realizó mediante buceo autónomo y se intentó minimizar la pérdida de la epifauna asociada transfiriendo la macroalga inmediatamente al tanque de experimentación y manteniéndola en condiciones lumínicas y térmicas similares a las del sitio de recolección.

2.3.3 Trabajo de laboratorio

2.3.3.1 Acondicionamiento

Una vez que los peces fueron trasladados al laboratorio, se ubicaron en acuarios previamente preparados con temperaturas similares a las condiciones naturales de su hábitat ($9 \pm 1^\circ\text{C}$). Allí se mantuvieron por 48 horas para ser aclimatados y disminuir el estrés provocado antes de ser expuestos al experimento de uso de hábitat.

2.3.3.2 Condiciones de los experimentos

Teniendo en cuenta que en las latitudes altas (54° Sur) las horas de luz varían considerablemente dependiendo de la estación del año, todos los experimentos se realizaron durante la estación de verano, en el menor tiempo posible para evitar el cambio en la duración e intensidad lumínica.

El experimento se realizó bajo condiciones de luz natural y una temperatura de $8,8 \pm 0,8^\circ\text{C}$. Los registros de la presencia/ausencia en los hábitats de los experimentos se llevaron a cabo preferentemente en la franja horaria en la que la luz natural es más intensa (8-16 horas).

2.3.4 Análisis estadístico

Para realizar el análisis descriptivo, los datos obtenidos en los tres tipos de experimentos se convirtieron a porcentaje de individuos presentes en cada uno de los microhábitats y se hallaron dos índices de selección de hábitat.

Existe una gran cantidad de índices para cuantificar el grado de selección de recursos por parte de los animales (ya sean estos, alimentos, hábitats, lugares de cría, etc.). Scott (1920) es citado como el primer autor en cuantificar la selección mediante la relación de la tasa de consumo de un tipo de recurso y la densidad a la cual este está presente. Posteriormente, Savage (1931) en Manly et al. (1993) propuso independientemente relacionar las proporciones utilizadas de cada recurso con su proporción en el ambiente y varios autores se refieren a este índice como “forage ratio” (por su nombre en inglés, Atienza, 1994). Por otra parte, Ivlev (1961), encontró que el hecho de que el rango del índice propuesto por Savage estuviera entre cero e infinito resultaba engorroso y propuso un índice alternativo con un rango limitado. Para determinar si hubo o no selección de microhábitat por parte de los peces estudiados, se hallaron entonces los índices de Ivlev (1961) y de Manly et al. (2002).

El índice de selección de Ivlev se define como (Manly et al., 2002):

$$I_{Si} = (O_i - \hat{\pi}_i) / (O_i + \hat{\pi}_i)$$

Donde I_{Si} es el índice de selección para el hábitat i , O_i es la proporción de peces observados en el hábitat i , $\hat{\pi}_i$ es la proporción del tipo de hábitat i . En el índice de Ivlev, que va desde -1 a +1, los valores negativos indican que los peces evitan ese tipo de hábitat, cero indica selección al azar y los valores positivos indican una selección positiva.

Por otra parte, el índice de Savage, también llamado índice de preferencia, se calcula mediante la fórmula (Manly et al., 2002):

$$\widehat{W}_i = \frac{O_i}{\widehat{\pi}_i}$$

Donde O_i es la proporción del recurso i usado y de igual manera que en el índice de Ivlev, $\widehat{\pi}_i$ es la proporción del recurso i disponible. El índice de preferencia varía desde cero (selección negativa máxima) hasta infinito, siendo el 1 el valor central de la no selección. Se considera selección negativa cuando existe un uso significativamente menor del recurso del que cabría esperar por azar, selección positiva cuando el uso es significativamente mayor, y no selección cuando el uso no difiere significativamente de lo que podríamos esperar por azar.

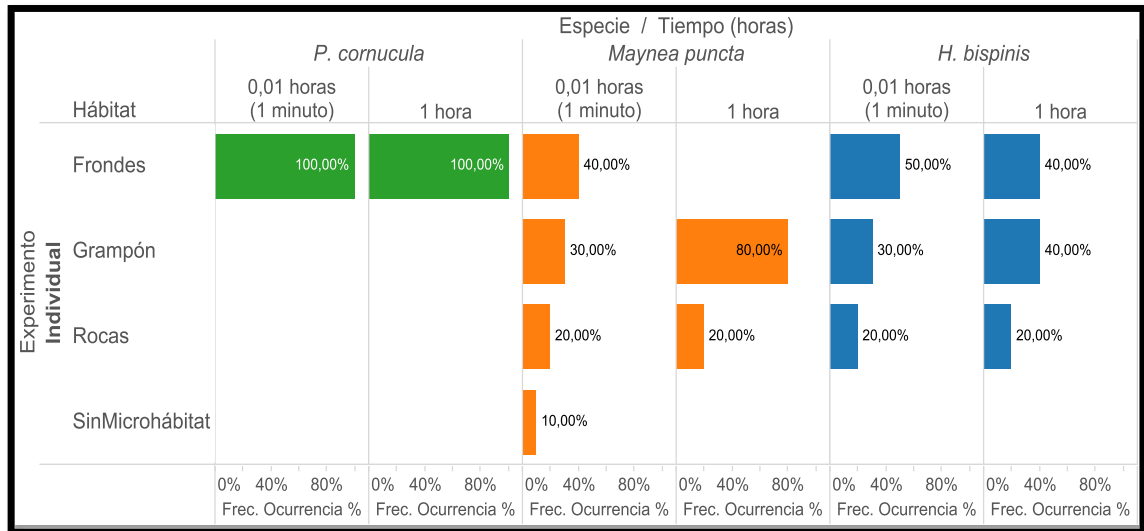
Para ambos índices se realizó un remuestreo (10000 iteraciones) basado en los datos obtenidos previo al cálculo de los índices y los intervalos de confianza (95%) correspondientes para cada microhábitat y cada experimento. Si el valor del índice caía dentro del intervalo de confianza se consideraba una elección significativa.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Preferencia de hábitat de las especies estudiadas

2.4.1.1 *Experimento individual*

Como resultado de este experimento se obtuvo que en el caso de *P. cornucola* tanto en el momento de la liberación como una hora después, todos los individuos se registraron posados sobre las frondes. Como se mencionó anteriormente esta especie está altamente asociada tanto al grampón como a las frondes de la macroalga *M. pyrifera* (Gráfica 2.1).



Gráfica 2.1 Resultados del experimento individual para cada una de las especies y de los microhábitats

En el caso de *M. puncta* la mayoría de individuos eligieron en el momento de la liberación las frondes o el grampón, pero una hora después el 80% de los individuos se ubicaron en el grampón y el resto en las rocas (20%). En esta especie se registró un comportamiento particularmente interesante. Después de la liberación los individuos realizaban una exploración del tanque, pasando por todos los microhábitats, deteniéndose poco tiempo en cada uno (este comportamiento es el que se ve reflejado en los resultados del minuto 1) y después de haber explorado un par de veces cada uno de los microhábitats, elegían en su mayoría el grampón (80%), donde mediante giros rápidos y enérgicos lograban entrar en lo profundo de dicha estructura y desaparecían de la vista de las cámaras de video.

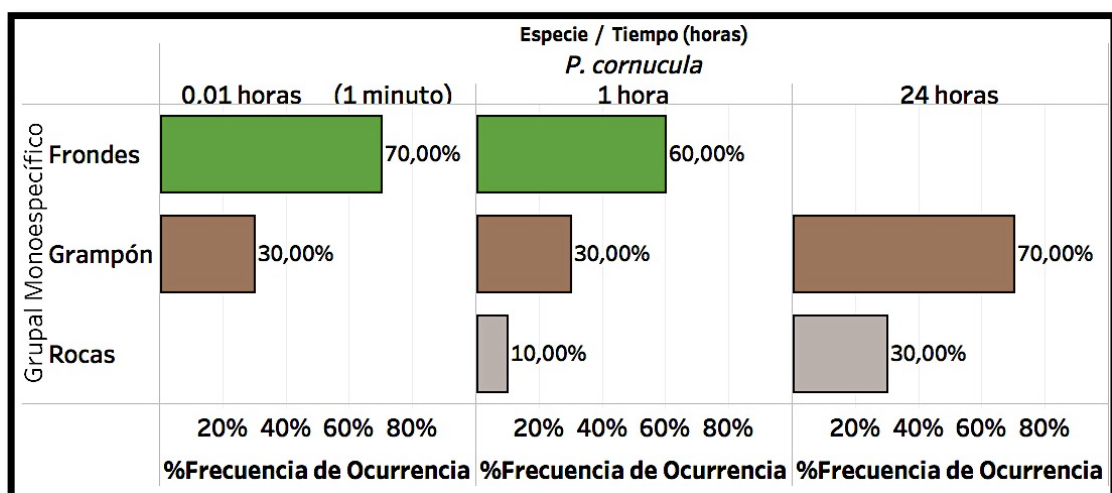
En el caso de *H. bispinis* inicialmente los individuos eligieron frondes (50%), grampón (30%), y roca (20%). Al cabo de una hora la elección de los primeros dos hábitats se equiparó en un 40%, y el otro permaneció invariable. En el caso de las frondes, se posaban debajo de ellas y se apoyaban en el fondo y en el caso del grampón, su anatomía no les permitía entrar tan fácilmente en los intersticios generados por los hapterios entretejidos del grampón, así que se ubicaban debajo o en los alrededores, a diferencia de *M. puncta* y *P. cornucula* quienes podían penetrar el grampón.

2.4.1.2 Experimento grupal monoespecífico

Los hábitats que mejor cumplen los requerimientos de cada especie serían los seleccionados entre los existentes en el ambiente. Los peces utilizarían entonces los hábitats menos óptimos solo en condiciones de falta o degradación de la calidad de sus hábitats preferidos y una de las razones por las que un hábitat óptimo puede disminuir la calidad es el incremento de la densidad de individuos en el mismo. Este tipo de incremento podría verse reflejado en el experimento grupal monoespecífico donde se evaluaría la selección de hábitat denso-dependiente (Rangeley & Kramer, 1998 en Sonenes et al., 2013) si bien no fue el objetivo del experimento.

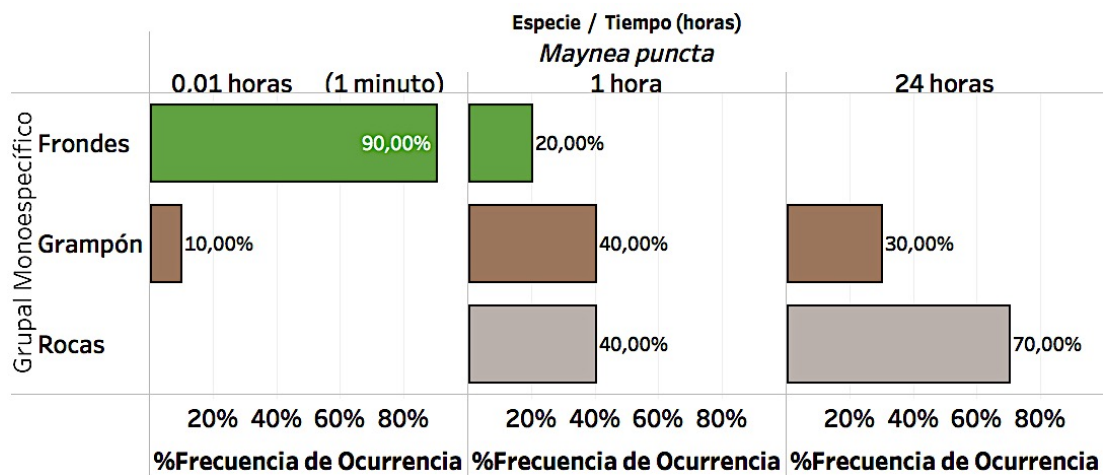
El hecho de que se hayan investigado estas tres especies a nivel comportamental es un avance en el conocimiento de la ictiofauna del Canal Beagle

El patrón de elección de hábitat de *P. cornucola* en el momento de la liberación y una hora después sigue presentando como elección de preferencia a las frondes, sin embargo ya no es el único hábitat seleccionado como en los experimentos individuales (grampón y rocas son también seleccionados). Sin embargo, pasadas las 24 horas frondes deja de ser seleccionado y el grampón pasa a ser el hábitat preferido (gráfica 2.2), seguido de las rocas (Fotografía 2.1).



Gráfica 2.2 Resultados del experimento grupal monoespecífico para *P. cornucola* en tres tiempos diferentes y para cada uno de los microhábitats probados

En el caso de *M. puncta* en el momento de la liberación la mayoría de individuos eligieron las frondes, a diferencia del experimento individual donde la selección de hábitat resultó repartida entre las 4 opciones. Al cabo de una hora eligieron en su mayoría el grampón y las rocas, al igual que en el experimento individual, aunque en este caso en el mismo porcentaje (40% cada uno de los hábitats). Además, un 20% de los individuos siguieron eligiendo las frondes. Al cabo de 24 horas un 70% de los individuos se habían situado en las rocas, y un 30% en el grampón (Gráfica 2.3).



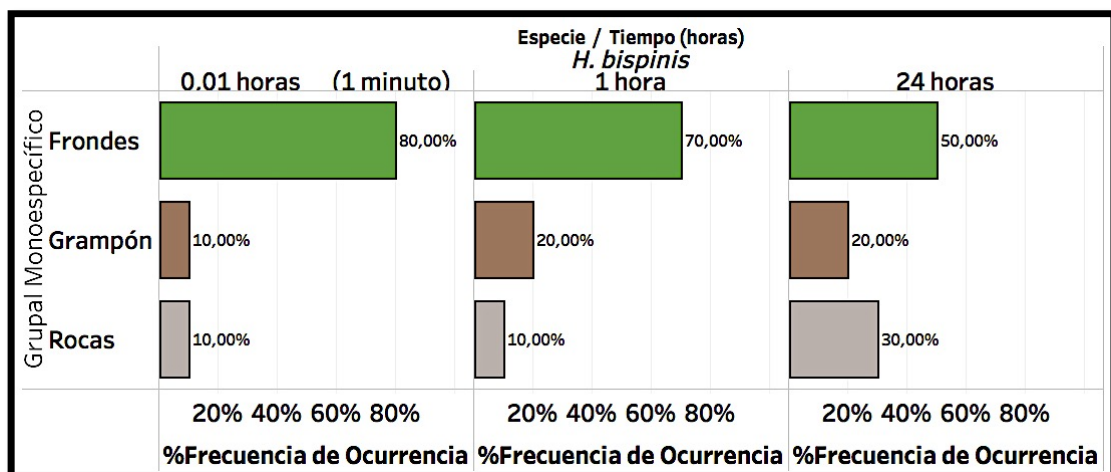
Gráfica 2.3 Resultados del experimento grupal monoespecífico para *M. puncta* en tres tiempos diferentes y para cada uno de los microhábitats probados



Fotografía 2.1 *Patagonotothen cornucola* en el microhábitat roca durante el experimento monoespecífico

En el caso de *H. bispinis* al momento de la liberación eligió mayoritariamente las frondes ubicadas en el fondo del estanque, una hora después continuó eligiendo este hábitat en mayor porcentaje seguido del grampón y las rocas (Gráfica 2.4).

Pareciera ser que a esta especie el efecto grupo no le afecta mucho, quizás porque a diferencia de *M. puncta* y *P. cornucula* no puede internarse en el grampón donde los intersticios a ocupar son reducidos y se podría presentar algo de competencia por espacio, más bien elige lugares donde hay más espacio como los alrededores del grampón, de las rocas o la sombra dada por las frondes de la macroalga. Dado que esta especie es un predador demersal *sit-and-wait* (Brodeur et al., 2003) le favorece refugiarse en estructuras donde la visibilidad no sea tan limitada como dentro de los hapterios del grampón. A las 24 horas las rocas pasaron a ocupar el segundo hábitat más elegido, después de las frondes de *Macrocystis pyrifera*. Estos dos microhábitats le facilitan el refugio a esta especie que al poseer colores acordes al hábitat donde pasa la mayoría del tiempo, le proporcionan el camuflaje necesario para pasar desapercibido en las cavidades oscuras generadas por las rocas y por las frondes de *M. pyrifera* (Gráfica 2.4).



Gráfica 2.4 Resultado del experimento grupal mono-específico para la especie *H. bispinis* en tres tiempos diferentes para cada uno de los microhábitats probados (frondes, grampón y rocas)

En este estudio, se encontró que las tres especies, seleccionaron los micro-hábitats en diferentes porcentajes, al ser expuestos a una mayor densidad de individuos.

M. puncta que en algunos casos presenta una coloración negra con rayas blancas y que resulta más evidente en el fondo pardo de los bosques de kelp, posee un cuerpo vermiforme y alargado lo cual le permite mediante giros rápidos y enérgicos ocultarse en el interior del grampón y de los apilamientos de rocas (Fotografía 2.2). *P. cornucola* debido a la forma de su cuerpo también puede adentrarse en el grampón y dada su mayor flotabilidad en comparación a *H. bispinis* (Fernández et al., 2012) puede utilizar también las frondes posándose sobre ellas. *H. bispinis* por poseer una especial habilidad para mimetizarse se camufla bien entre las sombras y formas creadas por las estructuras vegetales y las rocas, pero debido a su cuerpo acorazado no puede adentrarse en el grampón y en concordancia con su baja flotabilidad no se le observó posándose sobre las frondes.



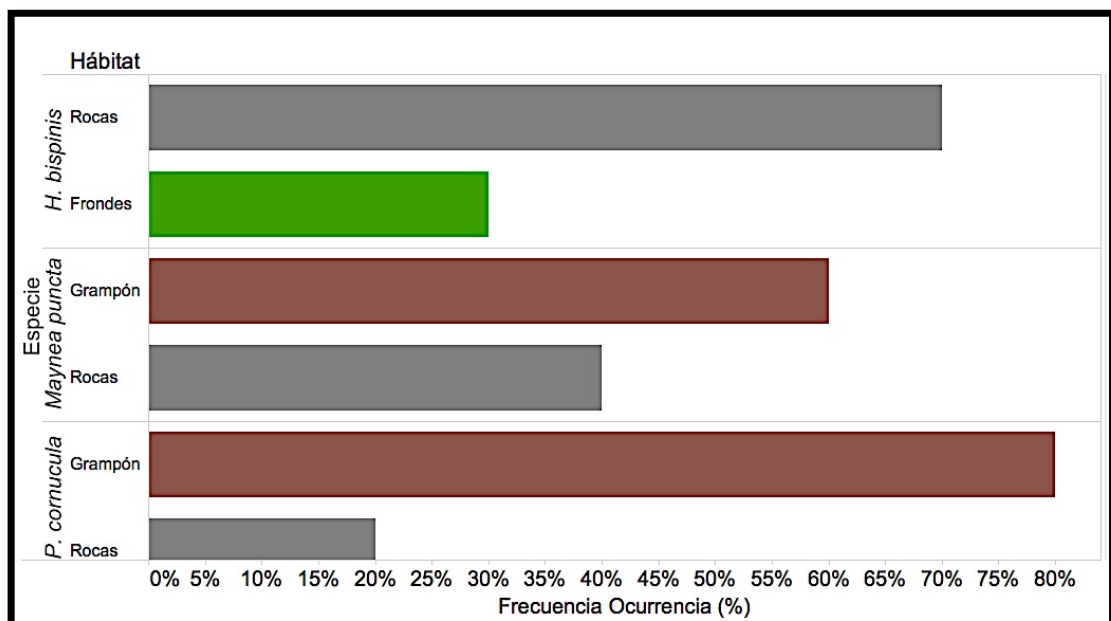
Fotografía 2.2 Micohábitat compuesto por grampones de *M. pyrifera* y el zoarcido *M. puncta* adentrándose en el grampón

2.4.1.3 Experimento grupal multiespecífico

Los animales no se ubican aleatoriamente, más bien seleccionan elementos del ambiente que encajan mejor con su morfología y con las

interacciones inter e intra específicas (Rodríguez-Robles et al., 2005). Es por ello que es necesario evaluar como varía la selección de microhábitats en presencia de otras especies y de mayores densidades de individuos.

En el experimento multi-específico *H. bispinis* cambió de patrón de elección con respecto al experimento grupal monoespecífico, puesto que pasó de haber elegido mayoritariamente frondes, seguido de rocas en el experimento multi-específico a elegir rocas (70%) y frondes (30%) en el experimento grupal mono-específico (Gráfica 2.5). Es posible que se deba a que en frondes si bien puede camuflarse bajo la sombra no hay una estructura física rígida que en presencia de otras especies lo pueda proteger de la depredación, como si lo hay en las acumulaciones de rocas.



Gráfica 2.5 Porcentaje de frecuencia de ocurrencia de tres especies de peces en tres microhábitats diferentes durante el experimento grupal multiespecífico

M. punctata, también cambió su patrón de elección con respecto al experimento grupal monoespecífico, puesto que en el experimento mono-específico eligió primero rocas y después grampón y en el multi-específico esto se invirtió. Es posible que al haber individuos de otra especie (*H. bispinis*) en rocas, *M. punctata* haya preferido el grampón y cabe resaltar que

entre las tres especies comparadas, parece ser el más especializado para aprovechar ese microhábitat.

P. cornucola siguió con el mismo patrón de elección que en el experimento grupal monoespecífico: principalmente grampón y secundariamente rocas. Los individuos de esta especie fueron observados moviéndose en la columna de agua y entre los microhábitas de manera más ágil en comparación con las otras dos especies.

2.4.2 Índices de selección de hábitat

En este estudio se calcularon los índices de Savage (1931), el más apropiado para estudiar si el grado de selección medido es significativamente diferente del esperable por azar, y de Ivlev que permite realizar comparaciones entre intensidades de selección y otras variables (Atienza, 1994), (para más detalles de los índices ver materiales y métodos). La tabla 2.1 resume los resultados obtenidos para los índices de selección (ver Anexos del capítulo para más información de los valores de los intervalos de confianza).

Tabla 2.1 Selección de microhábitat de tres especies de peces, en tres tiempos diferentes según los índices de selección de Ivlev y Sauvage

<i>P. cornucola</i>	Liberación	1H	24H
Individual	Frondes	Frondes	
Grupal	Frondes	Frondes	Grampón
Multiespecífico	Grampón	Grampón	Grampón
<i>M. puncta</i>			
Individual	Azar	Grampón	
Grupal	Frondes	Azar	Rocas
Multiespecífico	Grampón y Rocas	Grampón y Rocas	Grampón y Rocas
<i>H. bispinis</i>			
Individual	Azar	Azar	
Grupal	Frondes	Frondes	Azar
Multiespecífico	Rocas	Rocas	Rocas

Los resultados de los dos índices de selección fueron iguales. En el momento de la liberación del experimento individual la elección fue azarosa, a excepción del caso de *P. cornucola* que eligió el microhábitat frondes tanto

en el tiempo 0,01 como una hora después. En los experimentos grupales frondes fue la primera opción en todas las especies. En el caso de los experimentos multiespecíficos la elección en el momento de la liberación varió con la especie y coincidió con la de 24 hs en todos los casos. El análisis del compartamiento durante la liberación resulta importante dado que representaría la elección de hábitat ante una circunstancia de peligro.

Los registros efectuados a la hora y a las 24 horas de la liberación intentaron determinar la preferencia permanente de microhábitat. Se observaron variaciones en todas las especies. De acuerdo al conocimiento previo de las especies los resultados de 24 hs y experimentos multiespecíficos son los que se asemejan más a lo observado en la naturaleza. Es importante resaltar que el cambio en el comportamiento de las tres especies de peces según el tipo de experimento; evidencia que cuando se realizan experimentos individuales o grupales monoespecíficos se está perdiendo algo importante que ocurre en la naturaleza donde las especies coexisten. De tal manera que los resultados de los experimentos multiespecíficos, es decir los de mayor complejidad y similitud con lo que ocurre en la naturaleza, son los más importantes a tener en cuenta.

H. bispinis es abundante en la zona intermareal; siendo así una especie tolerante a la variación de la salinidad y temperatura; debido en parte a una modificación morfológica en sus riñones y a la actividad anticongelante en su sangre (Pérez et al., 2003). La zona intermareal es un área que frecuentemente se congela durante el invierno y que está expuesta a la desecación por el viento, especialmente durante la primavera y el verano. Esta especie eligió las rocas durante los experimentos multiespecíficos que son el principal componente del internmareal.

Según los estudios realizados por Fernández et al. (2012), *P. cornucola* presentó los valores más bajos de flotabilidad entre otros nototenidos como *P. tesellata* y *P. magellanica*, esta característica debe facilitar que se ubique en el fondo aprovechando la sombra y formas de las frondes en esa parte del bosque de *M. pyrifera* durante los experimentos grupales.

El índice de Ivlev, al tener un rango limitado de posibles valores, permite jerarquizar la selección de los microhábitats. Esto es importante en el caso de *M. puncta* que seleccionó tanto las rocas como el grampón

durante el experimento multiespecífico. El valor más alto del índice lo presentó con el grampón (0,411), siendo casi el doble del valor obtenido en las rocas (0,231). Por lo tanto, podríamos decir que los individuos de *M. puncta* cuando se encuentran en presencia de otras especies prefieren primero el grampón y en segundo lugar las rocas.

En todos los casos el área vacía siempre fue rechazada, con lo valores más bajos posibles de los índices, es decir presentaron un rechazo perentorio reflejando la gran importancia de los tres componentes de heterogeneidad del bosque de *M. pyrifera* (frondes, grampón, rocas).

Según los resultados de este trabajo, las tres especies estudiadas respondieron cada una de manera diferente a los experimentos de preferencia de hábitat. Así pues, tanto los microhabitats planteados durante el experimento como el tipo de organización (individual, grupal mono o multiespecífico) influyeron en la respuesta de los peces estudiados. Lo que se observó durante los experimentos, está en concordancia con lo hallado por Pérez-Matus & Shima (2010), quienes sugieren que las especies responden de diferentes formas a las características de los hábitats y entonces los ensambles de peces pueden diferir de un área a otra dependiendo de estas características.

2.5 CONCLUSIONES



Los diferentes componentes de la heterogeneidad de hábitat de *M. pyrifera* influyen la selección de microhábitats por parte de las tres especies estudiadas y esta elección también se ve influenciada según la densidad de individuos y la presencia de otras especies.



Las tres especies difieren en su preferencia de los microhabitats ofrecidos por el bosque de *M. pyrifera*.



El grampón es una parte estructural del bosque fundamental para el refugio de dos de las tres especies (*P. cornucola* y *M. puncta*). Cuando hay presencia de varias especies (experimento multi-específico), es la estructura preferida para refugiarse.

2.6 ANEXOS

Índice de Ivlev

Tabla 2.2 Resultados del índice de Ivlev e intervalos de confianza para *H. bispinis*

<i>Harpagifer bispinis</i> Índice de IVLEV							
Experimento	Tiempo	Microhábitat probado	Resultado p/cda. microhábitat	Media	Varianza	IC Inferior	IC Superior
Individual	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Azar	0,296	0,030	-0,111	0,524
		Grampón	Azar	0,025	0,084	-1,000	0,412
		Rocas	Azar	-0,207	0,129	-1,000	0,333
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Azar	0,178	0,052	-0,429	0,474
		Grampón	Azar	0,180	0,051	-0,429	0,474
		Rocas	Azar	-0,200	0,125	-1,000	0,333
Grupal	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Selección	0,517	0,004	0,333	0,600
		Grampón	Azar	-0,524	0,145	-1,000	0,091
		Rocas	Azar	-0,531	0,144	-1,000	0,091
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Selección	0,461	0,009	0,231	0,600
		Grampón	Azar	-0,203	0,127	-1,000	0,333
		Rocas	Azar	-0,528	0,144	-1,000	0,091
	24 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Azar	0,298	0,030	-0,111	0,524
		Grampón	Azar	-0,209	0,127	-1,000	0,333
		Rocas	Azar	0,024	0,083	-1,000	0,412
Multiespecífico	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Azar	0,075	0,015	-0,111	0,231
		Grampón	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Rocas	Selección	0,471	0,002	0,412	0,524

Tabla 2.3 Resultados del índice de Ivlev e intervalos de confianza para *M. puncta*

Maynea puncta Indice de IVLEV							
Experimento	Tiempo	Microhábitat probado	Resultado p/cd microhábitat	Media	Varianza	IC Inferior	IC Superior
Individual	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Azar	0,184	0,052	-0,429	0,474
		Grampón	Azar	0,174	0,054	-0,429	0,474
		Rocas	Azar	0,174	0,054	-0,429	0,474
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Rechazo	-1,000	0,000	-1,000	-1,000
		Grampón	Selección	0,516	0,004	0,333	0,600
		Rocas	Azar	-0,209	0,121	-1,000	0,333
Grupal	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Selección	0,562	0,002	0,474	0,600
		Grampón	Azar	-0,530	0,145	-1,000	0,091
		Rocas	Rechazo	-1,000	0,000	-1,000	-1,000
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Azar	-0,207	0,122	-1,000	0,333
		Grampón	Azar	0,179	0,052	-0,429	0,474
		Rocas	Azar	0,185	0,050	-0,429	0,474
	24 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Rechazo	0	0	0	0
		Grampón	Azar	0,020	0,085	-1,000	0,412
		Rocas	Selección	0,462	0,009	0,231	0,600
Multiespecifico	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Rechazo	0	0	0	0
		Grampón	Selección	0,41176471	3,0266E-27	0,41176471	0,41176471
		Rocas	Selección	0,231	0,000	0,231	0,231

Tabla 2.4 Resultados del índice de Ivlev e intervalos de confianza para *P. cornucola*

Patagonotothen cornucola Indice de IVLEV							
Experimento	Tiempo	Microhábitat probado	Resultado p/cd microhábitat	Media	Varianza	IC Inferior	IC Superior
Individual	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Selección	0,600	0,000	0,600	0,600
		Grampón	Rechazo	-1,000	0,000	-1,000	-1,000
		Rocas	Rechazo	-1,000	0,000	-1,000	-1,000
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Selección	0,600	0,000	0,600	0,600
		Grampón	Rechazo	-1,000	0,000	-1,000	-1,000
		Rocas	Rechazo	-1,000	0,000	-1,000	-1,000
Grupal	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Selección	0,461	0,009	0,231	0,600
		Grampón	Azar	0,018	0,084	-1,000	0,412
		Rocas	Rechazo	-1,000	0,000	-1,000	-1,000
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Selección	0,390	0,016	0,091	0,565
		Grampón	Azar	0,021	0,085	-1,000	0,412
		Rocas	Azar	-0,532	0,143	-1,000	0,091
	24 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Grampón	Selección	0,461	0,009	0,231	0,600
		Rocas	Azar	0,022	0,084	-1,000	0,412
Multiespecifico	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Grampón	Selección	0,46989916	0,00157148	0,41176471	0,52380952
		Rocas	Azar	0,076	0,015	-0,111	0,231

Índice de Sauvage

Tabla 2.5 Resultados del índice de Sauvage e intervalos de confianza para *H. bispinis*

<i>Harpagifer bispinis</i> Índice de Sauvage							
Experimento	Tiempo	Microhábitat probado	Resultado p/cda. microhábitat	Media	Varianza	IC Inferior	IC Superior
Individual	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Azar	2,029	0,388	0,800	3,200
		Grampón	Azar	1,190	0,327	0,000	2,400
		Rocas	Azar	0,811	0,243	0,000	2,000
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Azar	1,570	0,389	0,400	2,800
		Grampón	Azar	1,601	0,381	0,400	2,800
		Rocas	Azar	0,811	0,243	0,000	2,000
Grupal	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Selección	3,218	0,273	2,000	4,000
		Grampón	Azar	0,396	0,144	0,000	1,200
		Rocas	Azar	0,388	0,145	0,000	1,200
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Selección	2,790	0,334	1,600	4,000
		Grampón	Azar	0,801	0,259	0,000	2,000
		Rocas	Azar	0,416	0,148	0,000	1,200
	24 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Azar	2,011	0,390	0,800	3,200
		Grampón	Azar	0,810	0,255	0,000	2,000
		Rocas	Azar	1,221	0,330	0,000	2,400
Multiespecífico	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Azar	1,204	0,079	0,800	1,600
		Grampón	Rechazo	0	0	0	0
		Rocas	Selección	2,808	0,080	2,400	3,200

Tabla 2.6 Resultados del índice de Sauvage e intervalos de confianza para *M. puncta*

<i>Maynea puncta</i> Índice de Sauvage							
Experimento	Tiempo	Microhábitat probado	Resultado p/cda. microhábitat	Media	Varianza	IC Inferior	IC Superior
Individual	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Azar	1,584	0,429	0,400	2,800
		Grampón	Azar	1,597	0,398	0,400	2,800
		Rocas	Azar	0,824	0,268	0,000	2,000
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Rechazo	0,000	0,000	0,000	0,000
		Grampón	Selección	3,231	0,242	2,400	4,000
		Rocas	Azar	0,804	0,264	0,000	2,000
Grupal	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Selección	3,603	0,147	2,800	4,000
		Grampón	Azar	0,397	0,139	0,000	1,200
		Rocas	Rechazo	0,000	0,000	0,000	0,000
	1 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Azar	0,802	0,263	0,000	2,000
		Grampón	Azar	1,612	0,416	0,400	2,800
		Rocas	Azar	1,612	0,381	0,400	2,800
	24 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Rechazo	0	0	0	0
		Grampón	Azar	1,216	0,360	0,000	2,400
		Rocas	Selección	2,809	0,337	1,600	4,000
Multiespecífico	0,01 H	SinMicrohábitat	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Rechazo	0	0	0	0
		Grampón	Selección	2,4	2,0539E-27	2,4	2,4
		Rocas	Selección	1,600	0,000	1,600	1,600

Tabla 2.7 Resultados del índice de Sauvage e intervalos de confianza para *P. cornucola*

<i>Patagonotothen cornucola</i> Índice de Sauvage							
Experimento	Tiempo	Microhábitat probado	Resultado p/cd microhábitat	Media	Varianza	IC Inferior	IC Superior
Individual	0,01 H	SinMicroháb	Rechazo	-1	0	-1	-1
		Frondes	Selección	4,000	0,000	4,000	4,000
		Grampón	Rechazo	0,000	0,000	0,000	0,000
		Rocas	Rechazo	0,000	0,000	0,000	0,000
	1 H	SinMicroháb	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Selección	4,000	0,000	4,000	4,000
		Grampón	Rechazo	0,000	0,000	0,000	0,000
		Rocas	Rechazo	0,000	0,000	0,000	0,000
Grupal	0,01 H	SinMicroháb	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Selección	2,836	0,361	1,600	4,000
		Grampón	Azar	1,199	0,316	0,400	2,400
		Rocas	Rechazo	0,000	0,000	0,000	0,000
	1 H	SinMicroháb	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Selección	2,384	0,384	1,200	3,600
		Grampón	Azar	1,194	0,343	0,000	2,400
		Rocas	Azar	0,414	0,152	0,000	1,200
	24 H	SinMicroháb	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Rechazo				
		Grampón	Selección	2,796	0,357	1,600	4,000
		Rocas	Azar	1,225	0,366	0,000	2,400
Multiespecífico	0,01 H	SinMicroháb	Rechazo	0	0	0	0
		Frondes	Rechazo	0	0	0	0
		Grampón	Selección	2,8032	0,07526503	2,4	3,2
		Rocas	Azar	1,193	0,073	0,800	1,600



Vista del estrato fondo y columna de agua del bosque de *Macrocystis pyrifera*

3. CAPÍTULO III: Ensamblajes de peces en dos estratos de los bosques de kelp de *Macrocystis pyrifera*

3.1 INTRODUCCIÓN

Pocos ecosistemas marinos están formados por estructuras que abarcan desde el fondo hasta la superficie del agua; uno de ellos es el bosque de kelp de *Macrocystis pyrifera*. La macroalga forma una estructura compleja que abarca desde los grampones anclados al fondo marino, recorre toda la columna de agua con las frondes y forma el dosel hasta sobresalir al exterior del agua. Esta particularidad, hace que su presencia

influya en una gran variedad de organismos marinos tanto bentónicos como pelágicos.




Los organismos marinos que viven bajo la influencia de los bosques de kelp pueden realizar sus actividades en diferentes partes del alga. Por ejemplo, diferentes estadios de los peces (larvas, juveniles, adultos) han sido asociados a diferentes partes de la macroalga (frondes, grampón, láminas) (Nelson, 2001). Las frondes pueden ser usadas para refugiarse y los grampones como sitios de alimentación (Christie et al., 2007).

Varios autores han estudiado la influencia directa e indirecta de *M. pyrifera* sobre la distribución y abundancia de los peces (ej. Carr 1989, Schmitt & Holbrook, 1990; Carr, 1991,1994; Steneck et al., 2002; Vanella et al., 2007). Steneck et al. (2002) reporta que los peces predadores usan el dosel como hábitat y por lo tanto la pérdida del mismo puede convertirse en una disminución de estas especies y un consecuente incremento de la supervivencia de sus presas. Vanella et al. (2007) confirma esta hipótesis para el caso de *Paranotothenia magellanica* en el Canal Beagle.

El ensamble de peces no varía sólo espacialmente en los bosques de kelp sino también varía temporalmente debido a la estacionalidad (ej. Moreno & Jara, 1984; Vendel et al., 2003; Jaureguizar et al., 2004). Se ha reportado que la variabilidad en la abundancia y diversidad observada es explicada por factores físicos y/o biológicos como la temperatura y las migraciones reproductivas.

Este capítulo hace referencia particularmente a la variación estacional y espacial en la estructura de los ensambles de peces asociados por una parte al dosel flotante y por otra parte a la zona más profunda del bosque de kelp de *M. pyrifera*. Además contempla la caracterización biológica de las dos especies de nototenidos que se hallaron en mayor abundancia: *Paranotothenia magellanica* y *Patagonotothen tesellata*.

3.2 OBJETIVOS

-  Analizar la estructura comunitaria de la ictiofauna asociada a *M. pyrifera* en tres bosques del Canal Beagle, sus cambios estacionales y la relación de estos con las variables ambientales.
-  Contrastar los ensambles de peces asociados a dos estratos del bosque de *M. pyrifera*: columna de agua y fondo, en términos de abundancia, riqueza y ocurrencia de especies.
-  Aportar al conocimiento de la biología de dos especies de nototénidos: *Paranotothenia magellanica* y *Patagonotothen tesellata*.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1 Diseño de muestreo

Con el objetivo de estudiar el ensamble íctico que habita en el bosque de *M. pyrifera*, se realizaron salidas de campo estacionales durante dos años consecutivos (2013 y 2014, ver capítulo I). En cada una de las salidas se calaron un trasmallo de fondo (con peso extra en la relinga inferior) y un trasmallo de media agua (con flotadores extra en la relinga superior) con la intención de capturar los peces asociados a distintas profundidades del bosque, ambas de 20 m de largo, 1,2 m de altura y 160 mm de apertura de malla. Esta metodología ya fue utilizada exitosamente en otro trabajo del laboratorio de Ecología, fisiología y evolución de organismos acuáticos del CADIC-CONICET (Vanella et al., 2007).

3.3.2 Trabajo de campo

Tanto la red de media agua como la de fondo fueron caladas aproximadamente 24 horas (Fotografía 3.1). Debido a los fuertes vientos característicos de la región en algunas ocasiones las redes estuvieron más de 24 horas porque se necesitaba una ventana de buen tiempo para recuperarlas. Con el objetivo de estandarizar los datos, la captura por unidad de esfuerzo (CPUE) se estandarizó a 24 horas. Para evitar interferencia entre las dos redes, las mismas nunca se calaron al mismo tiempo en el mismo bosque. Una vez que las redes fueron recuperadas, los peces capturados se trasladaron al laboratorio para su posterior análisis.



Fotografía 3.1 Trasmallos de fondo calados en el bosque de *Macrocystis pyrifera*

3.3.3 Trabajo de laboratorio

Los peces capturados se identificaron al nivel taxonómico más bajo posible. Los individuos se contaron, se midieron (longitud total y longitud estándar, en mm) y pesaron (peso total del individuo, peso del hígado, las gónadas y las vísceras, precisión 0,1 gramos). Siempre que fue posible se determinó el sexo de cada individuo.

3.3.4 Parámetros ambientales

Se registraron las condiciones ambientales como la temperatura, la salinidad y la transparencia (ver capítulo I).

3.3.5 Análisis estadístico

Las variaciones en la CPUE se graficaron para ver su comportamiento a lo largo del período de muestreo. Se realizó un diagrama de Olmstead-Tukey (Sokal & Rohlf, 1979) para jerarquizar las especies del ensamble de peces asociado a los bosques de kelp. También se calcularon los índices de riqueza específica S , diversidad de Shannon-Wiener (H'), el índice de Margalef (d) y el de equidad de Pielou (J'), ver capítulo I para más detalles.

Para el estudio de las dos especies de nototénidos más abundantes se calculó la proporción de hembras y machos, la distribución de frecuencia de tallas, la relación longitud-peso, el índice de condición (K_n) y los índices gonadosomático (IGS) y hepatosomático (IHS).

3.3.5.1 *Análisis multivariado*

(*ver capítulo I para más explicación de estos métodos estadísticos)

Se realizó una transformación de los datos originales a $\log_{10} (x+1)$ a fin de nivelar la influencia de las especies dominantes en las matrices de abundancia y peso. A partir de las matrices de número de individuos y de peso se construyeron matrices de similitud. Se realizó un MDS para visualizar como se agrupan las campañas de muestreo. Posteriormente se utilizó un PERMANOVA para encontrar posibles diferencias en la composición de las especies, seguido de comparaciones por pares (*pairwise comparisons*, en inglés). Además, con el objetivo de encontrar las principales especies que influyeron en las diferencias encontradas, se realizó un SIMPER (Clarke, 1993) utilizando como medida de (dis)similitud el coeficiente de Bray Curtis.

La relación de las variables ambientales con la estructura de los ensambles se analizó mediante una rutina BEST+BIOENV (Clarke & Gorley, 2006) del software PRIMER v6+. Para probar si estas variables tienen una significancia estadística se realizó un Global BEST *match permutation test*.

3.3.5.2 Índices gonadosomático y hepatosomático

Para estimar la extensión del período reproductivo se analizaron los cambios en el índice gonadosomático (IGS). Este índice expresa el peso total de la gónada como porcentaje del peso total del cuerpo. Las gónadas de los individuos adultos sufren cambios durante su desarrollo que pueden ser evidenciados a través del seguimiento de este índice (Murphy & Willis, 1996)

Índice gonadosomático (Vazzoler, 1996)

$$IGS = (100 Wg)Wt^{-1}$$

donde Wg es el peso total de las gónadas y Wt es el peso total del cuerpo.

Para estimar las reservas energéticas hepáticas de los individuos se calculó el índice hepatosomático como:

Índice hepatosomático:

$$IHS = (100 Ph)Wt^{-1}$$

donde Ph es el peso total del hígado y W t es el peso total del cuerpo.

3.3.5.3 Índices de condición relativa

A fin de comparar ejemplares de distintas tallas dentro de una misma población, compensando los cambios en la forma o condición a medida que se incrementa la talla (Le Cren, 1951; Lizama et al., 2002; Froese, 2006), se empleó el factor de condición relativa Kn. Mediante el método de mínimos

cuadrados se obtuvieron los parámetros a y b , a partir de la RLW. Para la totalidad de los individuos se calculó el índice a partir del peso total (W_T), del peso total menos el peso de la gónada (W_{T-G}) y teniendo en cuenta solamente el peso eviscerado (W_{EV}). En cada caso se obtuvo el K_N , expresándolo como K_N , $K_{N-(T-G)}$ y K_{N-EV}

$$K_N = \frac{W_T}{W'_T}$$

$$K_{N-(T-G)} = \frac{W_{T-G}}{W'_{T-G}}$$

$$K_{N-EV} = \frac{W_{EV}}{W'_{EV}}$$

donde W (W_T , W_{T-G} o W_{EV}) son los diferentes pesos observados de un individuo de una determinada L_T .

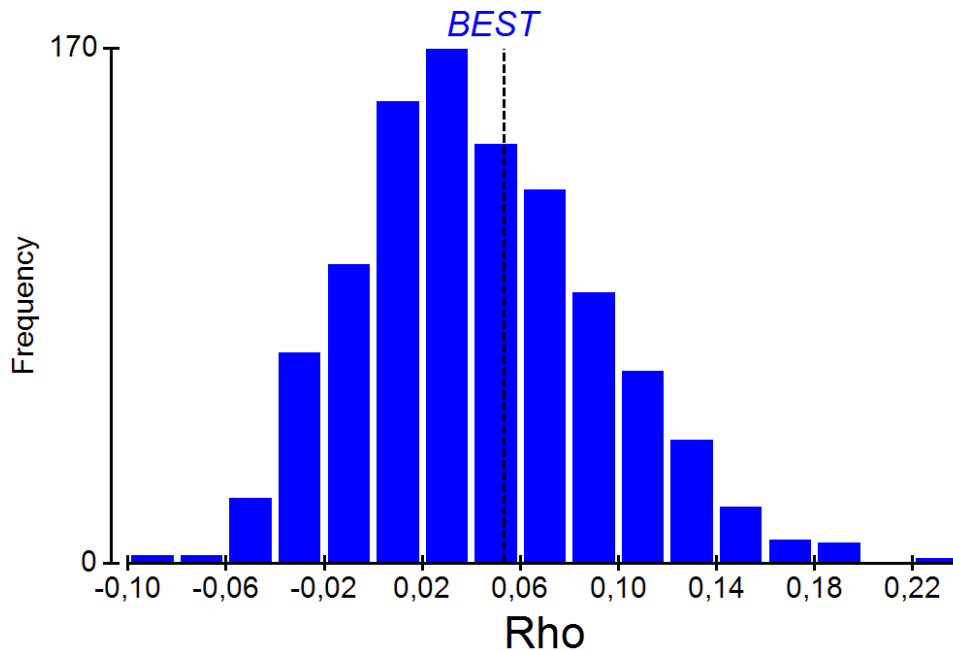
Los tres índices mencionados anteriormente se calcularon para discriminar cuánto de la variación de la condición de los peces se debe a la porción somática del cuerpo, cuánto a las gónadas y cuánto a las vísceras. Todo esto para saber bajo qué condiciones o en qué momento la porción somática del cuerpo de los peces es máxima (Maiztegui, 2016).

3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.4.1 Vinculación de las diferencias en los ensambles ícticos con los patrones de las variables ambientales

El conjunto de variables: temperatura-salinidad fue el mayormente correlacionado con la variación de los ensambles ícticos (p real= 0,053, BEST+BIOENV). Siendo la temperatura la variable más fuertemente

correlacionada (p real = 0,046) que la salinidad (p real = 0,036). Estas correlaciones no resultaron estadísticamente significativas (Global BEST match permutación test, Gráfica 3.1)



Gráfica 3.1 Test de permutación global BEST (PRIMER V6+) donde se muestra el valor p real: 0,053 (líneas punteadas) y los p obtenidos por 999 permutaciones.

3.4.2 Descripción del ensamble de peces asociados a los bosques de *M. pyrifera*

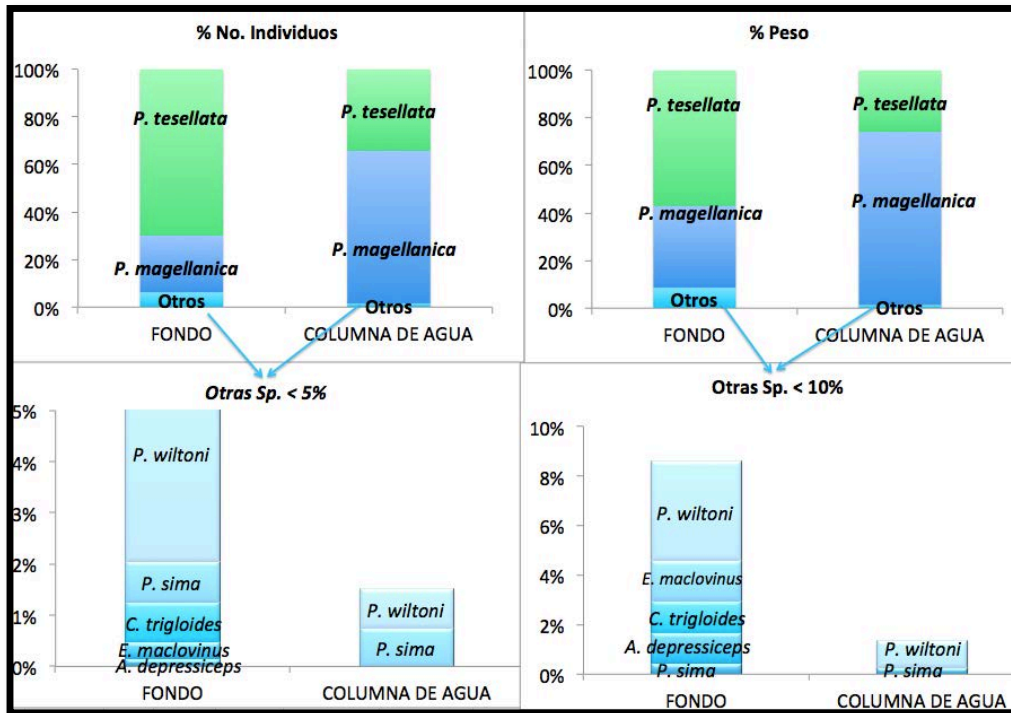
3.4.2.1 Composición específica

Durante los dos años de muestreos estacionales se capturaron 748 individuos pertenecientes a 4 familias: 6 especies de nototénidos y una especie de zoarcido. La dominancia del suborden Notothenioidei (85,7 % de las especies) demuestra la importancia del ecosistema formado por el bosque de kelp de *M. pyrifera* para este grupo de peces en particular y para la ictiofauna en general ya que este suborden representa el 31 % del número total de especies de la ictiofauna del canal Beagle (López et al., 1996).

Tabla 3.1 Número de peces de distintas especies asociadas al fondo y a la columna de agua en el bosque de *M. pyrifera*

Taxón/Estrato	FONDO	C. AGUA
Bovichtidae		
<i>Cottoperca trigloides</i>	5	0
Eleginopsidae		
<i>Eleginops maclovinus</i>	2	0
Nototheniidae		
<i>Paranotothenia magellanica</i>	134	84
<i>Patagonotothen sima</i>	5	1
<i>Patagonotothen tesellata</i>	441	48
<i>Patagonotothen wiltoni</i>	26	1
Zoarcidae		
<i>Austrolycus depressiceps</i>	1	0

El ensamble de peces asociado al fondo del bosque de kelp presentó un mayor número de especies que el ensamble de peces asociado a la columna de agua (7 spp. vs. 4 spp.). Las dos especies más abundantes a lo largo del periodo de estudio fueron *P. tesellata* y *P. magellanica*. En el fondo del bosque predominó *P. tesellata*, mientras que *P. magellanica* predominó en la columna de agua, resultados que están en correspondencia con los hallados por Moreno & Jara (1984) y Vanella et al. (2007). Las demás especies representaron menos del 10% en cuanto a número de individuos y peso. Dos especies consideradas demersales fueron exclusivas de la zona de fondo (*C. trigloides* y *A. depressiceps*) junto con el róbalo *E. maclovinus*, que habita principalmente ambientes marinos bentónicos y estuarios (Vanella, et al., 2007) (Tabla 3.1). Otras dos especies (*P. sima* y *P. wiltoni*) estuvieron presentes tanto en el fondo como en la columna de agua (Gráfica 3.2).



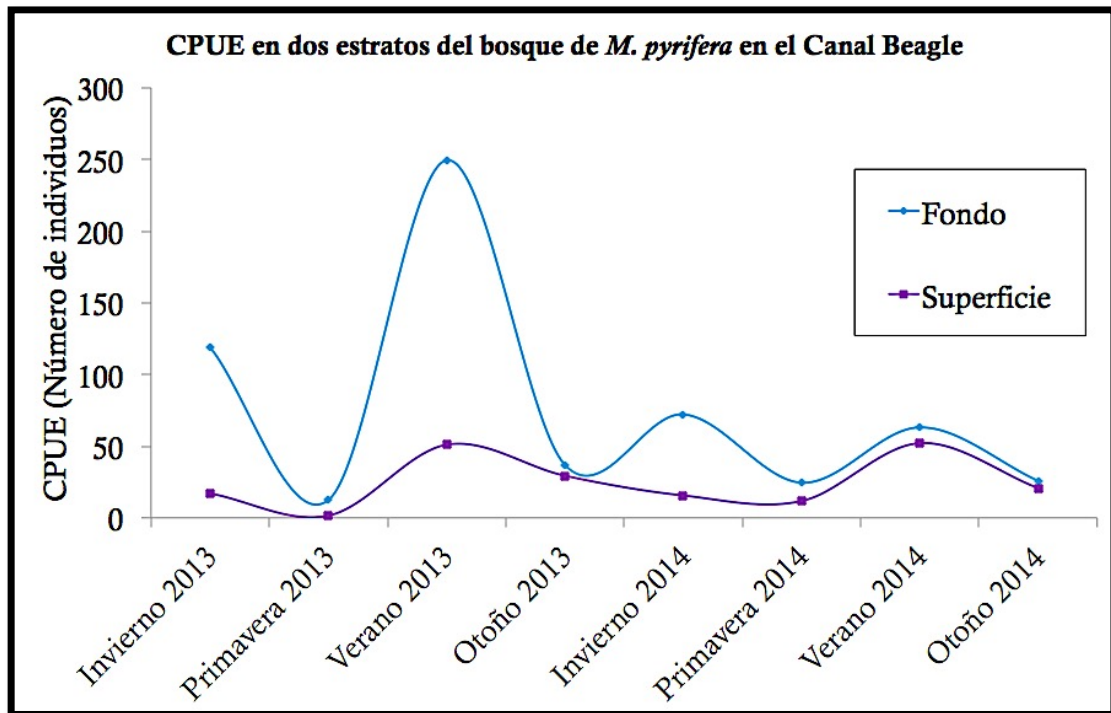
Gráfica 3.2 Número y peso de individuos hallados en dos estratos del bosque de *M. pyrifera* en términos de porcentaje y detalle de las especies que representaron menos del 5% y del 10%

3.4.3 Variación espacio-temporal de la captura por unidad de esfuerzo

La captura por unidad de esfuerzo fue siempre mayor en el estrato fondo, tanto en número de individuos como en peso. El valor máximo en los dos estratos se presentó durante el verano, siendo especialmente importante en el estrato de fondo del verano de 2013 (Gráfica 3.3). En los valores de fondo se ve un patrón con dos picos en verano (mayor) e invierno (menor) y valles en primavera y otoño, mientras que en superficie los picos se dan sólo en verano.

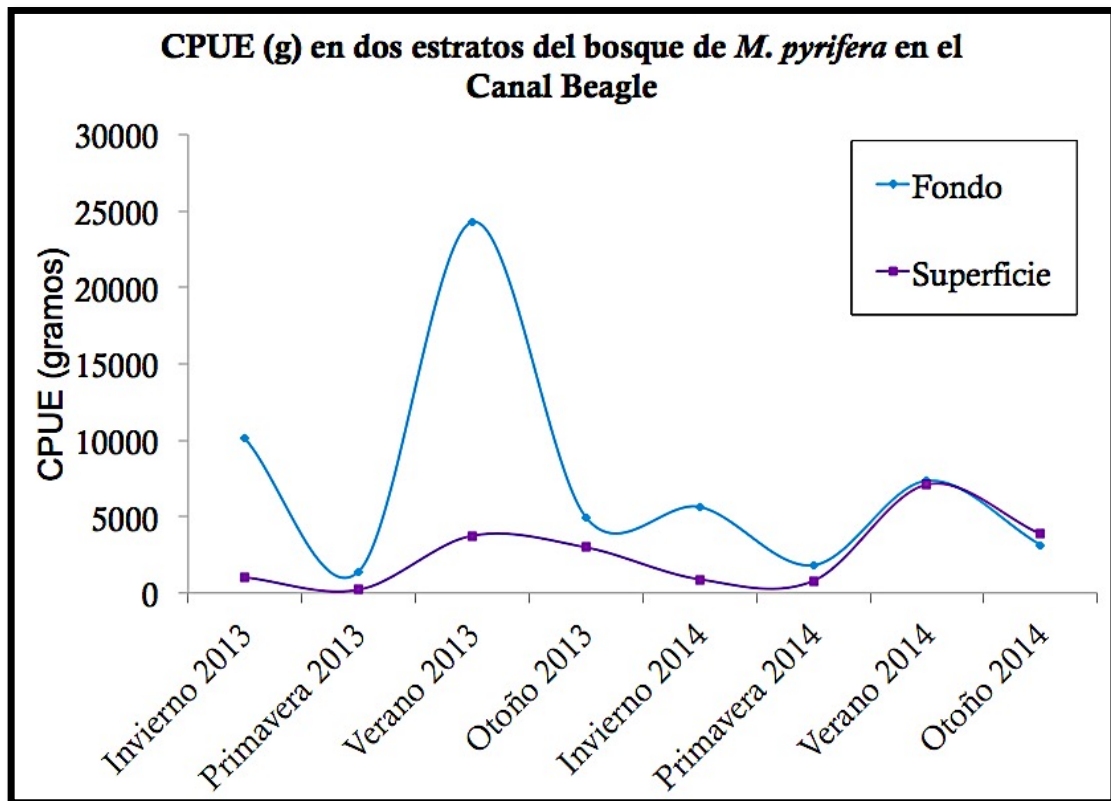
Los valores de la CPUE del 2013 fueron mayores. Como se ha mencionado anteriormente las comunidades asociadas a los bosques de kelp suelen ser muy estables y posiblemente el hecho de capturar los ensambles de peces durante todo un año haya influido en el número de individuos presentes en el bosque al año siguiente. Por ello es de suma importancia desarrollar herramientas tecnológicas de evaluación y monitoreo de los ensambles de peces que sean eficientes y lo menos destructivas

posibles. Un ejemplo de este tipo de herramientas sería el sistema de video empleado en esta Tesis (ver capítulo IV).



Gráfica 3.3 Captura por unidad de esfuerzo en término de número de individuos, en dos estratos del bosque de *M. pyrifera* en el Canal Beagle a través de épocas

El patrón de la variación estacional del la CPUE de peces asociados al bosque de *M. pyrifera* en número de individuos (Gráfica 3.3) y en peso (g) (Gráfica 3.4) tanto en el estrato del fondo como en la columna de agua fue similar. Según Jaureguizar et al. (2004) este tipo de variaciones pueden ser atribuidas a migraciones causadas por cambios ambientales (salinidad y temperatura) o cambios comportamentales (reclutamiento, movimientos reproductivos, búsqueda de áreas de cría).



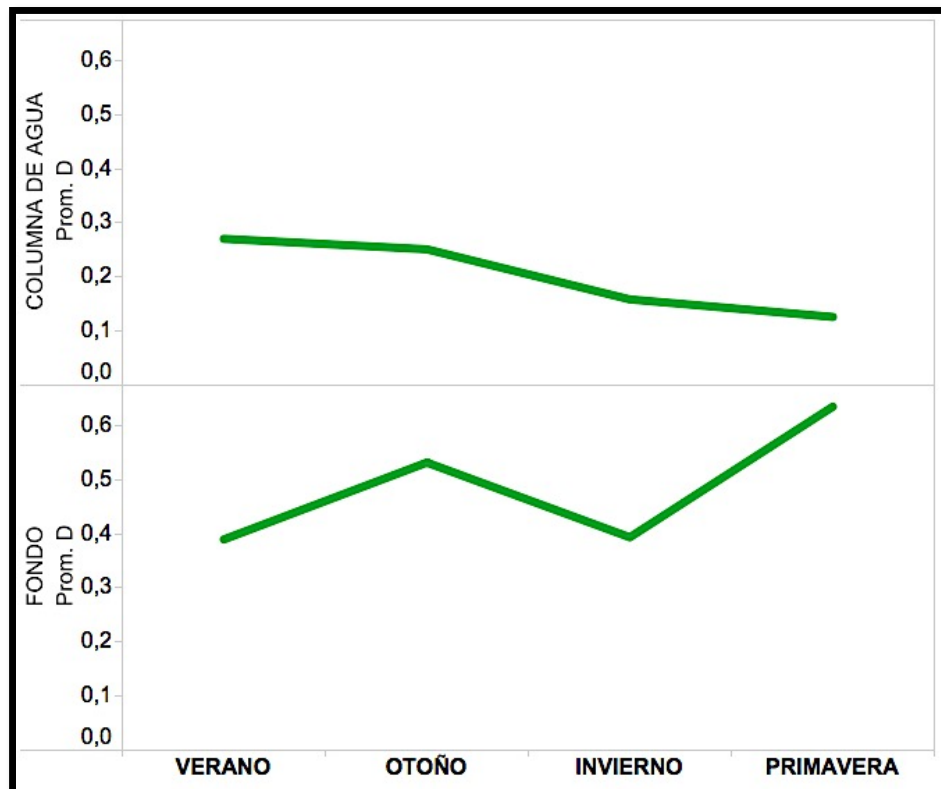
Gráfica 3.4 Captura por unidad de esfuerzo en término de peso en gramos, en dos estratos del bosques de *M. pyrifera* a través de las épocas

Las variaciones observadas en este estudio podrían ser explicadas en gran parte por los cambios en la abundancia de los nototénidos *P. magellanica* y *P. tessellata*, que se analizarán más adelante.

3.4.4 Índices de biodiversidad de los ensambles de peces asociados a dos estratos del bosque de kelp de *M. pyrifera* según las estaciones

3.4.4.1 Margalef (d)

Los valores más altos del índice de Margalef, que mide el número de especies por número de individuos (más detalles en el capítulo I), se obtuvieron en el estrato de fondo del bosque. Este índice varió presentando un patrón estacional con picos durante el otoño y la primavera, mientras que en la columna de agua los valores disminuyen desde el otoño hasta la primavera (Gráfica 3.5).



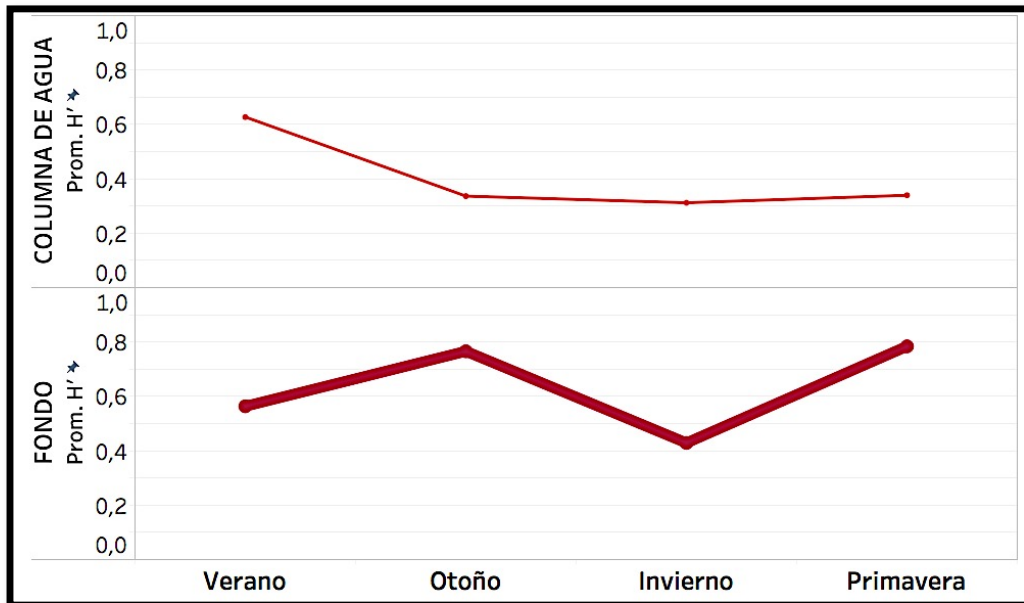
Gráfica 3.5 Valores del índice de Margalef de los ensamblajes de peces asociados a dos estratos: fondo y columna de agua en el bosque de *M. pyrifera*

El hecho de que durante el otoño y la primavera se presenten los valores más altos de este índice se debe a que durante el periodo invernal y estival algunas especies de nototénidos migran por procesos reproductivos (Hureau & Louis, 1978; Rae, 1991). Probablemente, el hecho de que este índice sea más alto en el fondo que en la columna de agua, se deba a que en el estrato fondo además de refugio se encuentra una gran fuente de alimento. El grampón cuenta con una gran diversidad de macro y micro invertebrados que pueden servir como presa a diferentes especies (capítulo I).

3.4.4.2 Shannon-Wiener (H')

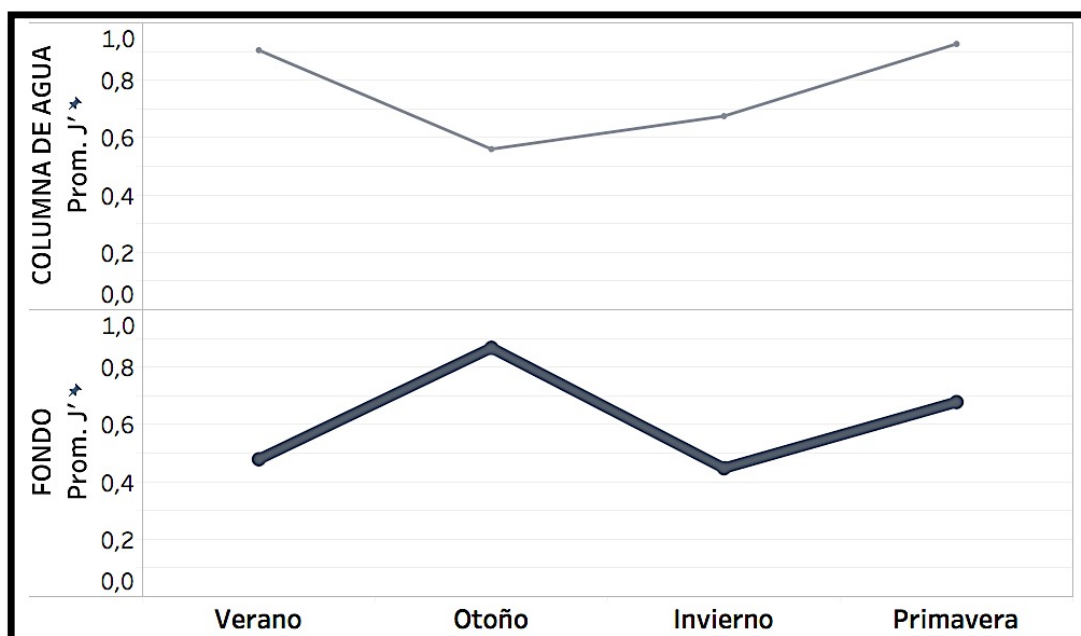
Siguiendo un patrón similar al índice de Margalef, el índice de diversidad H' para los ensamblajes asociados al fondo del bosque alcanzó los valores máximos durante el otoño y la primavera, y para la columna de agua

los valores máximos de verano duplican los de las otras estaciones, mientras que desde otoño hasta la primavera se mantienen (Gráfica 3.6).



Gráfica 3.6 Índice de Shannon-Wiener (H') a través de las épocas de muestreo en el estrato fondo y columna de agua de los bosques de kelp de *M. pyrifera*

3.4.4.3 Equidad de Pielou (J')



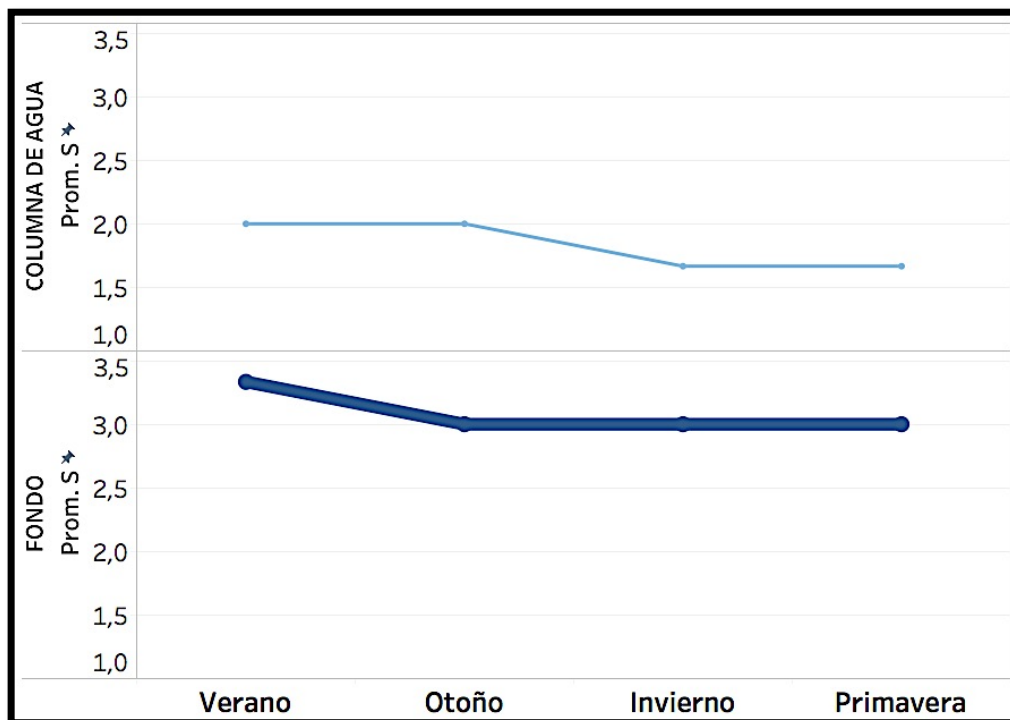
Gráfica 3.7 Índice de Pielou (J') en el estrato fondo y columna de agua de los bosques de kelp de *M. pyrifera*

El índice de Pielou en el estrato fondo presenta tanto un patrón como valores similares al índice de Shannon aunque indica la proporción de la

diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada (Gráfica 3.7, detalles en Capítulo I) En el caso de la columna de agua los valores máximos se alcanzan durante el verano y la primavera.

3.4.4.4 Índice de Riqueza (s)

La riqueza de especies varió muy poco a lo largo de las estaciones presentando un patrón semejante en el fondo del bosque y en la columna de agua. (Gráfica 3.8).

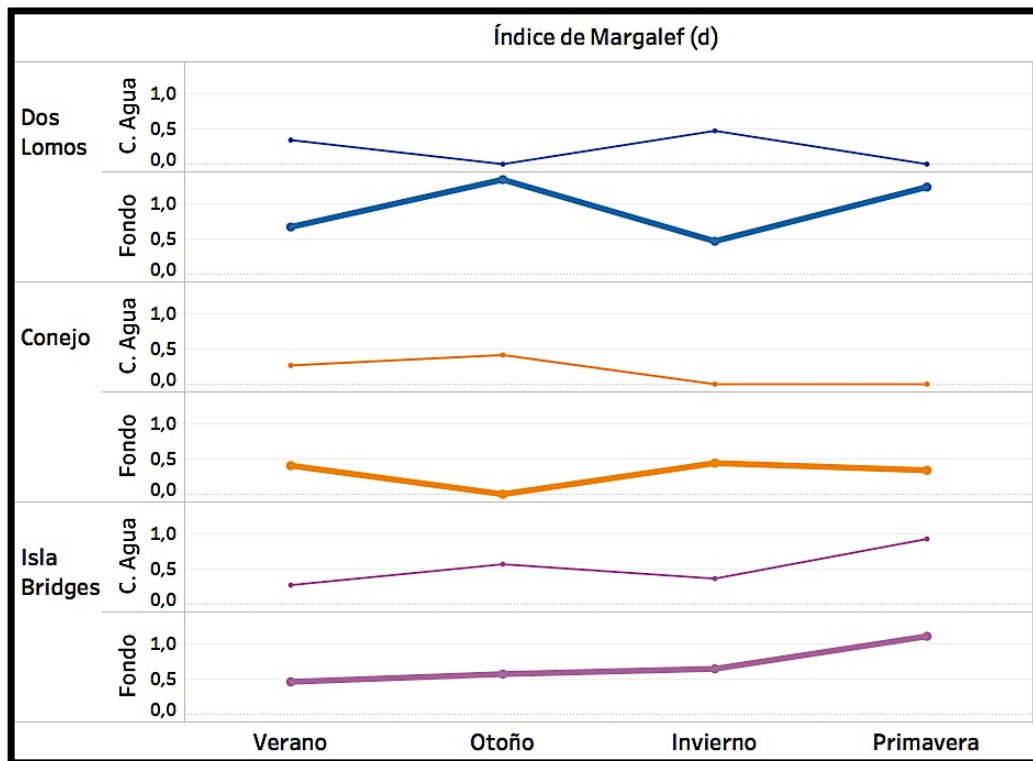


Gráfica 3.8 Riqueza específica (s) e índice de Margalef (D) de los ensambles de peces asociados a los bosques de *M. pyrifera* en los estratos fondo y columna de agua

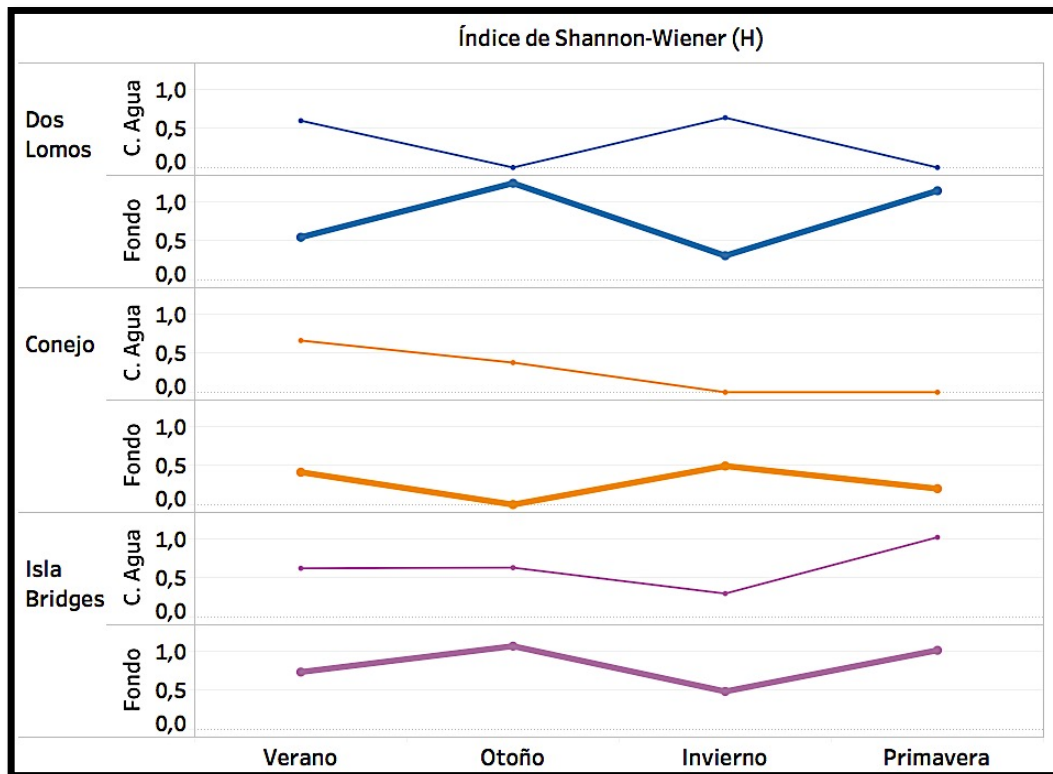
3.4.4.5 Índices de biodiversidad de los ensambles de peces asociados a dos estratos del bosque de kelp de *M. pyrifera* en tres bosques diferentes del Canal Beagle

Los patrones de fondo y columna de agua de los índices de Margalef, Shannon, Pielou y de riqueza fueron diferentes en los tres bosques (Gráficas 3.9 - 3.12) y en ningún bosque coincidieron con el patrón general (Gráfica 3.8) en los dos estratos. El patrón observado en isla Conejo coincidió con el

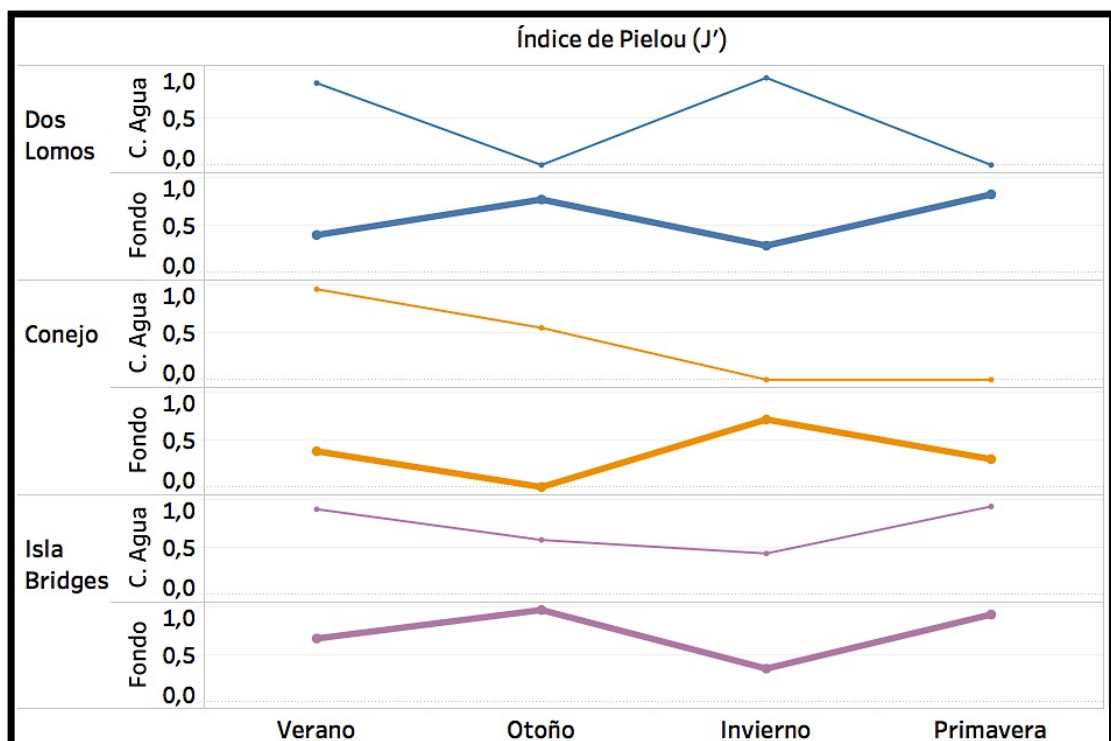
patrón general de columna de agua para todos los índices. El patrón observado en Dos Lomos coincidió con el patrón general de fondo excepto en el caso de la riqueza. El patrón observado en isla Bridge no coincidió con los patrones generales de fondo y columna de agua salvo en el caso de Pielou en que el patrón de fondo fue similar al patrón general. Esto implica que no se puede generalizar un patrón de ninguno de los índices para los distintos bosques del Canal.



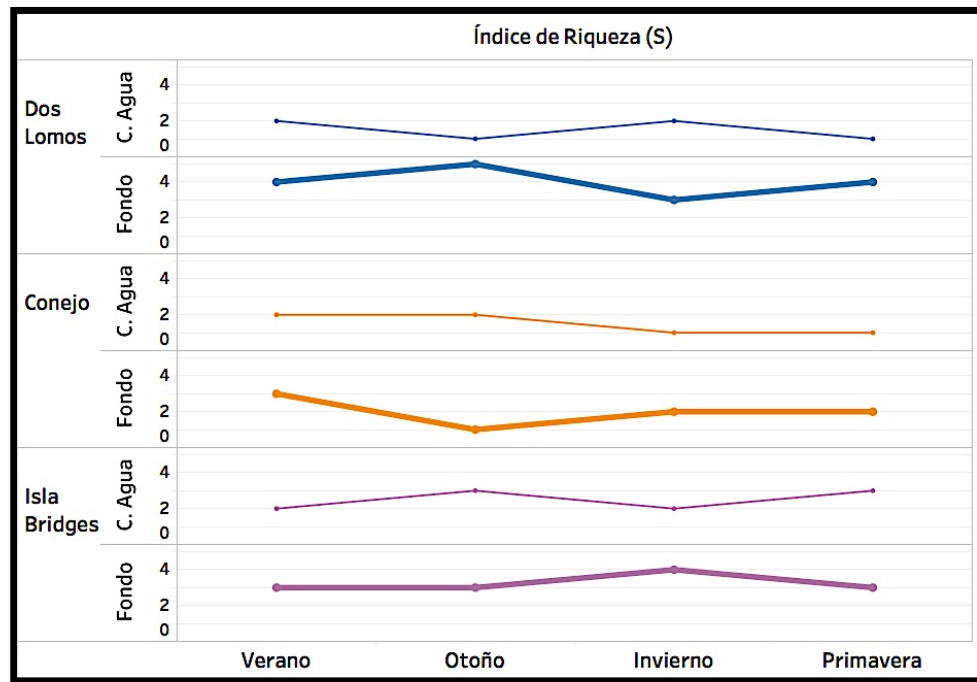
Gráfica 3.9 Índice de Margalef (d) de los ensambles de peces de tres bosques de *M. pyrifera* en los estratos fondo y columna de agua.



Gráfica 3.10 Índice de Shannon-Weiner (H') de los ensambles de peces de tres bosques de *M. pyrifera* en los estratos fondo y columna de agua.



Gráfica 3.11 Índice de Pielou (J') de los ensambles de peces asociados a los bosques de *M. pyrifera* en dos estratos (fondo y columna de agua).

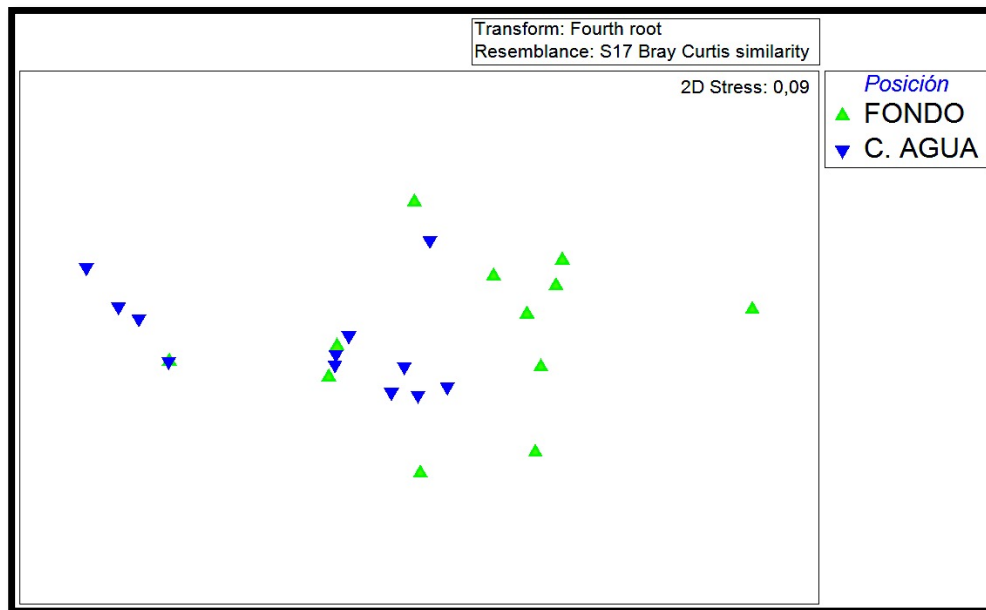


Gráfica 3.12 Índice de Riqueza (S) de los ensambles de peces de tres bosques de *M. pyrifera* en los estratos fondo y columna de agua

3.4.5 Comparación de los ensambles de peces asociados a dos estratos del bosque de *M. pyrifera*

3.4.5.1 Análisis de escalamiento multidimensional (MDS)

Se realizó un análisis de escalamiento multidimensional (MDS) cuya interpretación gráfica es tal que las muestras más próximas son más similares entre sí, respecto de las más alejadas (ver más detalles en capítulo I). En este caso la Gráfica 3.13 se corresponde con una buena ordenación de los datos dado que el grado de estrés es 0,09 (los resultados se consideran satisfactorios con un estrés menor a 0,2).

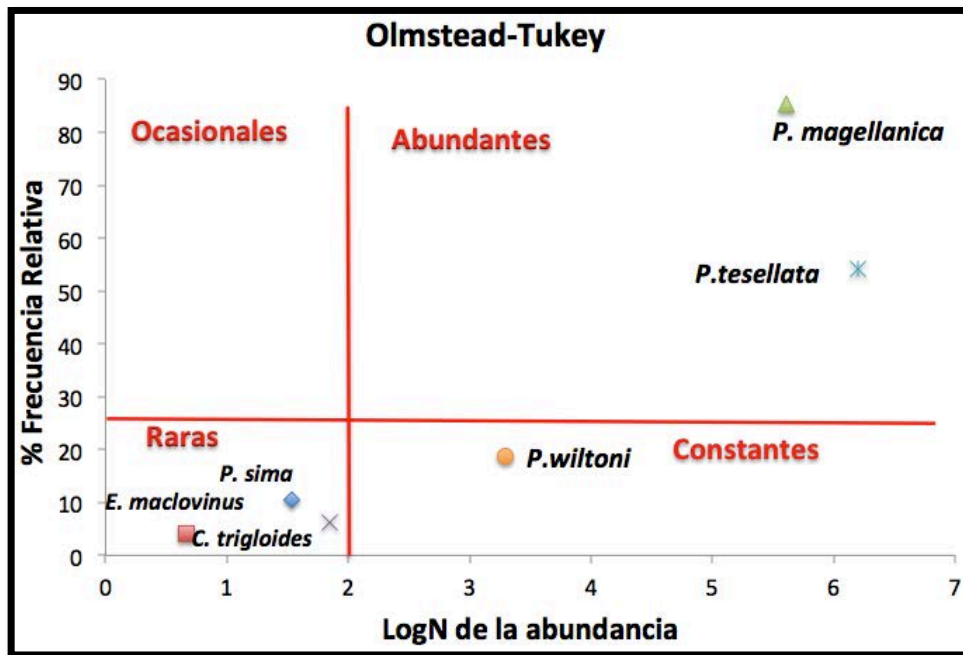


Gráfica 3.13 Análisis de escalamiento multidimensional de los ensambles de peces asociados a los estratos fondo y columna de agua de los bosques de *M. pyrifera*

La ordenación (MDS) muestra que las campañas de muestreo se agruparon siguiendo un patrón espacial, con los sitios de las estaciones del fondo del bosque más próximos entre sí y separados de los sitios de la columna de agua.

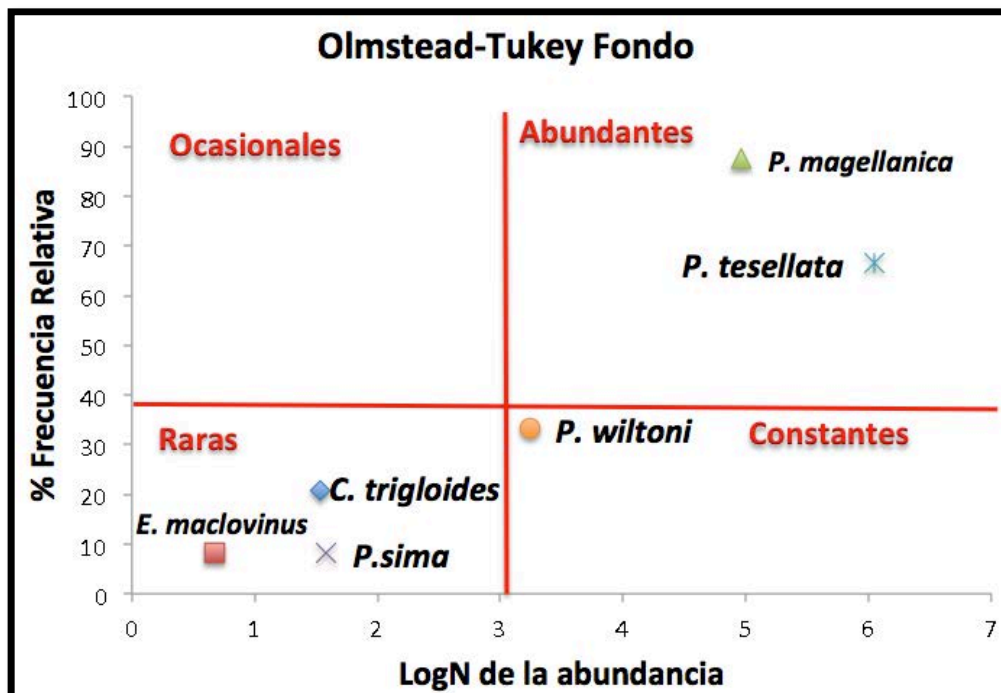
3.4.6 Jerarquización de especies

La gráfica de Olmstead-Tukey corrobora lo encontrado a lo largo de este trabajo es decir que las dos especies abundantes de los bosques de *M. pyrifera* en el canal son *P. magellanica* y *P. tesellata*. Además *P. wiltoni* aparece como especie constante asociada al bosque, mientras que *P. sima*, *E. Maclovinus* y *C. trigloides* son clasificadas como raras (Gráfica 3.14).

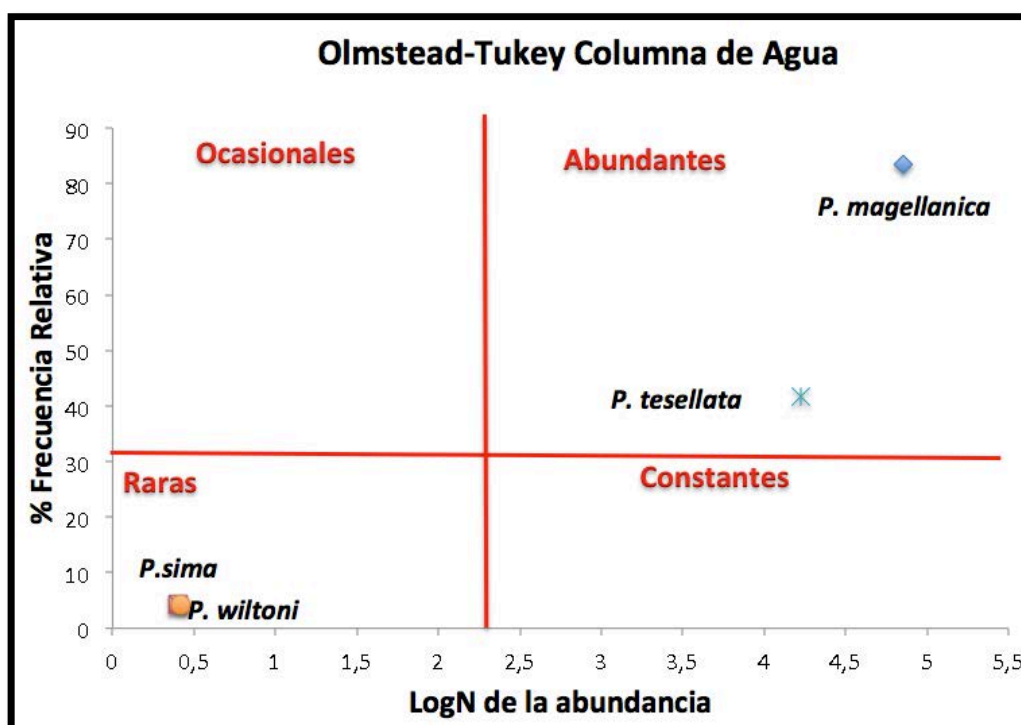


Gráfica 3.14 Diagrama de Olmstead-Tukey de las especies de peces asociadas al bosque de *M. pyriera* en el Canal Beagle

Sin embargo, *P. wiltoni* es jerarquizada como especie constante en el estrato fondo (Gráfica 3.15) y como especie rara en la columna de agua (Gráfica 3.16).



Gráfica 3.15 Diagrama de Olmstead-Tukey de las especies de peces asociadas al fondo del bosque de *M. pyriera* en el Canal Beagle



Gráfica 3.16 Diagrama de Olmstead-Tukey de las especies de peces asociadas al bosque de *M. pyriera* en el Canal Beagle en el estrato columna de agua

La diferencia entre los dos estratos según la jerarquización presentada en este gráfico se basa en que en el estrato de la columna de agua no aparece ninguna especie como constante a diferencia del estrato más profundo donde aparece *P. wiltoni*.

3.4.6.1 Análisis estadístico de las diferencias entre las campañas de muestreo

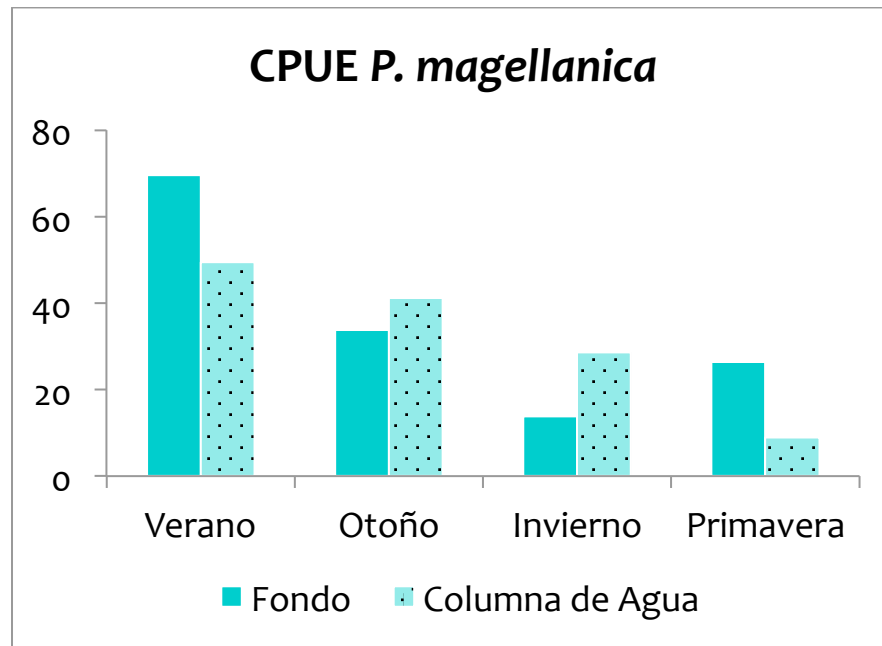
Para saber si existían diferencias significativas entre las campañas de muestreo, se realizó un PERMANOVA con los factores época, lugar y posición (fondo y columna de agua). Tanto el factor estrato ($P = 0,033$) como el factor lugar ($P = 0,01$) mostraron diferencias significativas. Es decir que tanto los ensambles de peces asociados a los estratos de fondo y columna de agua, como los ensambles de las distintas islas difieren en cuanto a composición y abundancia de especies. Las interacciones entre los factores no fueron estadísticamente significativas.

Posteriormente, se realizaron *parwise-comparisons* para ver entre que niveles del factor “lugar” hay diferencias significativas. Se observó que los ensambles de las islas Bridges y Conejo difiere significativamente ($P=0,027$), al igual que los ensambles de las islas Conejo y Dos Lomos ($P=0,022$). Sin embargo, los ensambles de las islas Bridges y Dos Lomos ($P=0,07$) parecieran no diferir tanto como en los casos de las otras islas. Esto lleva a deducir que el ensamble de peces asociado a los bosques de kelp de la isla Conejo es bastante particular en relación a los ensambles de las islas Bridges y Dos Lomos.

3.4.6.2 Principales especies que explican las diferencias entre las campañas de muestreo

Se realizó un SIMPER para conocer las especies que influyen más en las diferencias entre los estratos del bosque de *M. pyrifera*. Como resultado se obtuvo que las especies que contribuyeron mayormente a la diferenciación de los dos estratos fueron *P. tesellata* (43,39 %), *P. magellanica* (29,12 %) y *P. wiltoni* (17,47 %). En el estrato columna de agua, *P. magellanica* contribuyó en mayor medida que en el estrato fondo (87,84 % vs. 66,56 %), mientras que en el caso de *P. tesellata* su contribución fue menor en la columna de agua (12,16 %) y mayor en el fondo (27,06 %). En el caso de las diferencias obtenidas entre las tres islas, se obtuvo que la especie que contribuyó principalmente a la diferenciación de los tres lugares fue *P. magellanica* (93,80 % para conejo, 68,63 % para Isla Bridges y 62,43 % para Dos Lomos). La segunda especie que contribuyó a la diferenciación de los lugares fue *P. tesellata* (33,31% para Dos Lomos, 22,63% para Islas Bridges y menos del 10% para Conejo).

Las abundancias más altas de *P. magellanica*, tanto en el estrato de fondo como en la columna de agua se presentaron en verano, mientras que las más bajas fueron en invierno para el fondo y en primavera para la columna de agua (Grafica 3.17).

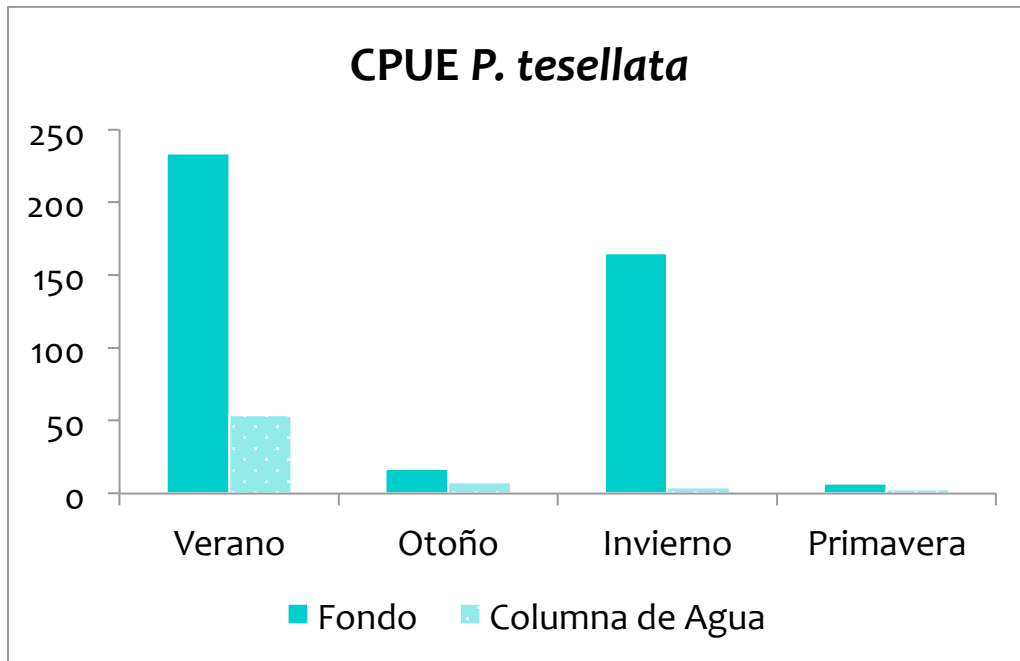


Gráfica 3.17 Variación de la CPUE de *Paranotothenia magellanica* a través de las estaciones.

La biología reproductiva de *P. magellanica* (la especie más abundante en la columna de agua) fue estudiada por Rae (1991), quien describió que usa el bosque de *M. pyrifera* como área de crecimiento para los juveniles y una vez que alcanza la madurez sexual entre mayo y junio (invierno) migra desde el bosque de *M. pyrifera* al área reproductiva que aún se desconoce. Moreno & Jara (1984) también reportaron una migración relativamente grande de individuos de *P. magellanica* en invierno (junio-julio) en otros bosques de kelp del Canal Beagle. Es altamente probable que estas migraciones sean la causa de la disminución de la CPUE de esta especie en ambos estratos (Gráfica 3.17). Estos resultados también coinciden con los resultados del capítulo IV en el que según los videos submarinos se presentó una disminución notoria del número de individuos de *P. magellanica* durante la misma época. Además, mediante los videos submarinos se observaron individuos de *P. magellanica* con una coloración rojiza durante el otoño, característica de los individuos sexualmente maduros.

En el caso de *P. tesellata* la CPUE fue evidentemente mayor en el estrato fondo que en el estrato columna de agua. Los valores mayores de abundancia se dan en verano. En invierno también se observa un valor muy elevado en el caso del estrato de fondo. Esta especie fue escasamente

capturada durante la primavera y el otoño (Gráfica 3.18). *P. tesellata* en contraste con *P. magellanica* está claramente asociada al estrato fondo.



Gráfica 3.18 Captura por unidad de esfuerzo de *Patagonotothen tesellata* en los estratos fondo y columna de agua del bosque de Kelp.

En este estudio, como se mencionó anteriormente, los valores más altos de abundancia y peso en el estrato columna de agua se observaron durante el verano coincidiendo con lo obtenido por Vanella et al. (2007).

3.4.7 Caracterización biológica de dos especies de Nototénidos

Dado que las especies *P. tesellata* y *P. magellanica* presentaron la mayor abundancia dentro del ensamble de peces asociado a los bosques de *M. pyrifera*, se pretende en este capítulo, aportar al conocimiento de los procesos biológicos que contribuyen a generar los patrones de abundancia de estas dos especies. Para lo cual se calcularon los máximos y mínimos de la longitud total (Lt) y del peso total (Pt), junto con la distribución de frecuencia de tallas y algunos índices biológicos como el gonadosomático y el hepatosómico y se dilucidó acerca de los aspectos reproductivos de

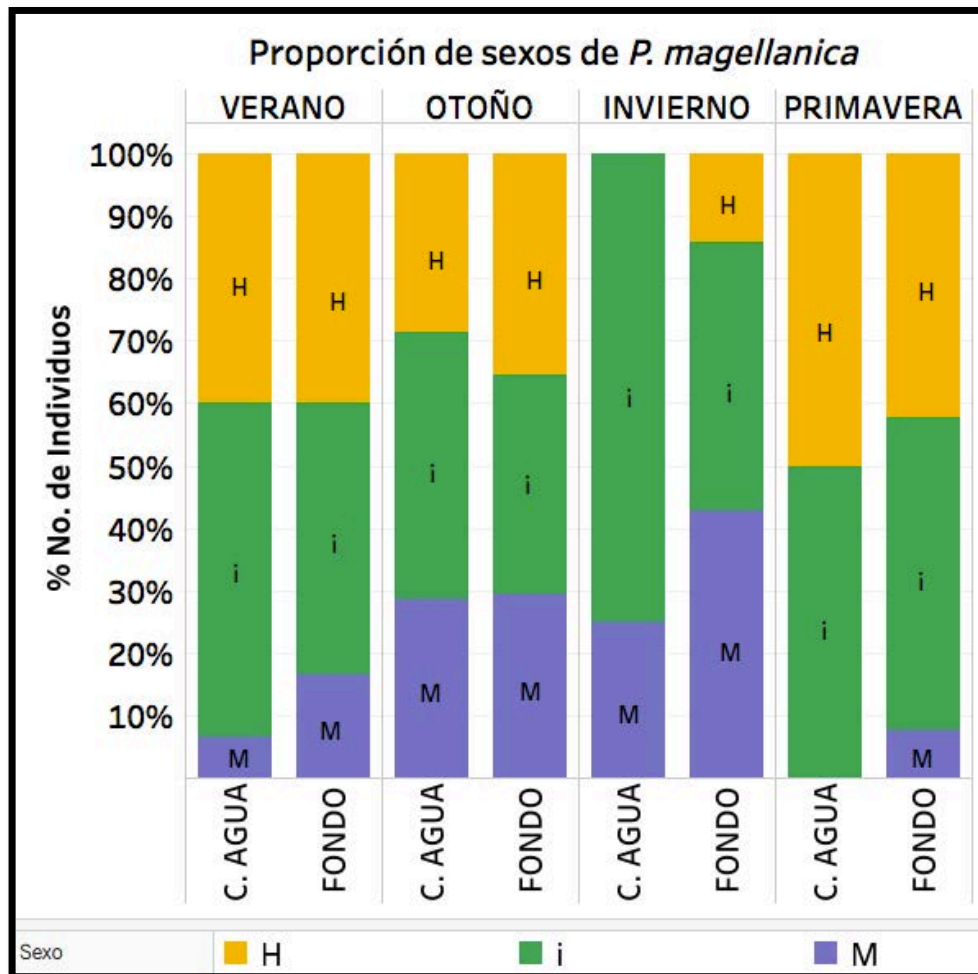
estos nototénidos, teniendo también en cuenta trabajos como los de Hureau (1978), Rae (1991) y Rae & Calvo (1995_{a,b}).

3.4.8 *Paranotothenia magellanica*

Como ya se mencionó anteriormente, Rae (1991) mostró que los individuos de *P. magellanica* que viven asociados a los bosques de *M. pyrifera* en el Canal Beagle presentan un periodo de migración entre mayo y junio. Las ovas de esta especie son consideradas pelágicas y North & White (1987) calcularon la edad y talla de primera madurez entre los 4-5 años y los 25 cm, respectivamente. Rae (1991) propuso la talla de primera madurez entre los 26 y 30 cm Lt y considera que la diferencia no es tan importante ya que el límite inferior de ese rango es semejante al valor de 25 cm propuesto por North & White (1987).

3.4.8.1 *Proporción de sexos de P. magellanica*

En cuanto a la proporción de machos y hembras de *P. magellanica*, los dos estratos del bosque presentaron un patrón estacional, mostrando una mayor proporción de hembras durante el verano y la primavera (Gráfica 3.19). Cabe notar que en el caso del estrato columna de agua durante el invierno no se capturaron hembras y durante la primavera no se capturaron machos.



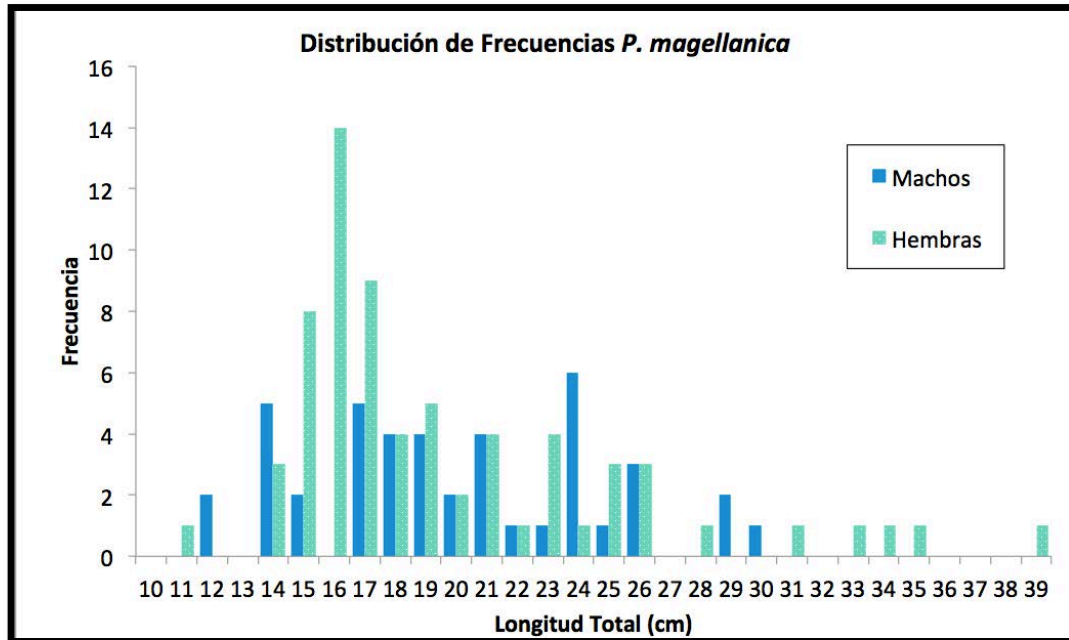
Gráfica 3.19 Porcentaje de hembras (H), machos (M) e indeterminados (i) de *P. magellanica* asociados a los estratos fondo y columna de agua de los bosques de *M. pyrifera* del Canal Beagle

En total se capturaron 207 individuos, de los cuales 68 fueron hembras (de 47 a 1127 g Pt; 11,6 a 39 cm Lt), 43 fueron machos (de 22 a 530 g Pt; 12 a 30,6 cm Lt) y 95 de sexo indeterminado (de 8 a 292 g Pt; 9,1-25,6 cm Lt). A lo largo de todas las épocas se registraron individuos a los que fue imposible determinarles el sexo debido a que en muchos casos las gónadas no eran visibles o no presentaban características claramente masculinas ni femeninas y además tenían un tamaño ínfimo.

3.4.8.2 Distribución de frecuencias de talla de *P. magellanica*

La moda principal en las hembras se presentó a una talla de 16 cm de Lt, mientras que en los machos a los 24 cm, siendo las tallas de mayor

frecuencia los 14, 17 y 24 cm (Gráfica 3.20). Esto podría indicar que la gran mayoría de la población capturada no había alcanzado la madurez sexual según lo calculado tanto por North & White, (1987) como por Rae (1991). Sin embargo, más adelante se discutirá al respecto teniendo en cuenta los valores del índice gonadosomático hallados.



Gráfica 3.20 Distribución de frecuencias de talla de hembras y machos del nototenido *P. magellanica*

Relación largo-peso $L_T - W_T$

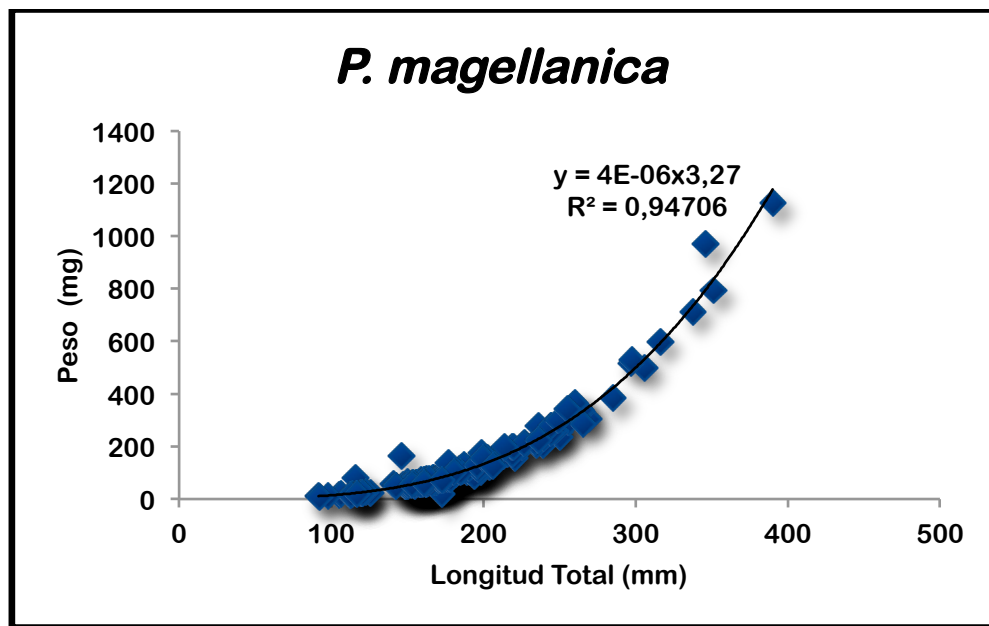
La relación largo-peso (RWL) de los peces se describe mediante la fórmula estadística (Le Cren, 1951; Ricker, 1973):

$$W_T = a * L_T^b$$

en la cual W_T es el peso corporal húmedo, L_T es la longitud total, a y b son los parámetros de la ecuación. Los parámetros a y b tienen un significado biológico: a está relacionado con la forma del cuerpo y b al tipo de incremento del peso corporal con respecto a la variación de la longitud, de tal forma que si es igual a 3, es isométrico, si es mayor a 3 es alométrico positivo y si es menor a 3 es alométrico negativo.

3.4.8.3 Relación longitud-peso de *P. magellanica*

En la Gráfica 3.21, se grafica RLW ($P < 0,01$). Como resultado de la función obtenida se dedujo que los individuos exhibieron un incremento del peso en relación a la talla de tipo alométrico positivo ($b=3.27$, semejante al obtenido por Fernández et al. (2018) para valores de capturas históricas en el Canal Beagle).

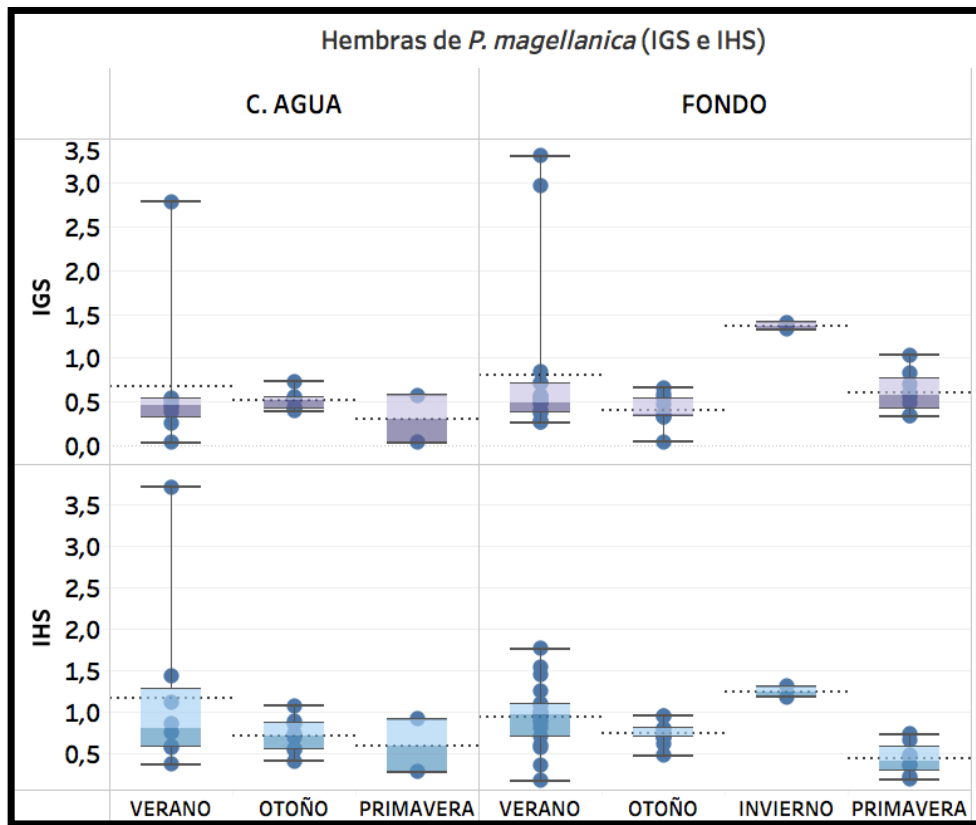


Gráfica 3.21 Relación longitud (mm)-peso (mg) del nototenido *P. magellanica*

3.4.8.4 Índice gonadosomático y hepatosomático de *P. magellanica*

Hembras de *P. magellanica*

En la Gráfica 3.22 se observan los valores de IGS e IHS de las hembras de *P. magellanica* en los dos estratos de bosque de *M. pyrifera*. Cabe resaltar que durante el invierno no se encontró ninguna hembra en la columna de agua y tan solo un par de hembras en el estrato fondo que presentaron los valores promedio más altos del IGS.



Gráfica 3.22 Índices IGS e IHS de hembras de *P. magellanica* en dos estratos de los bosques de *M. pyrifera* y su variación estacional. Valores promedio=línea punteada.

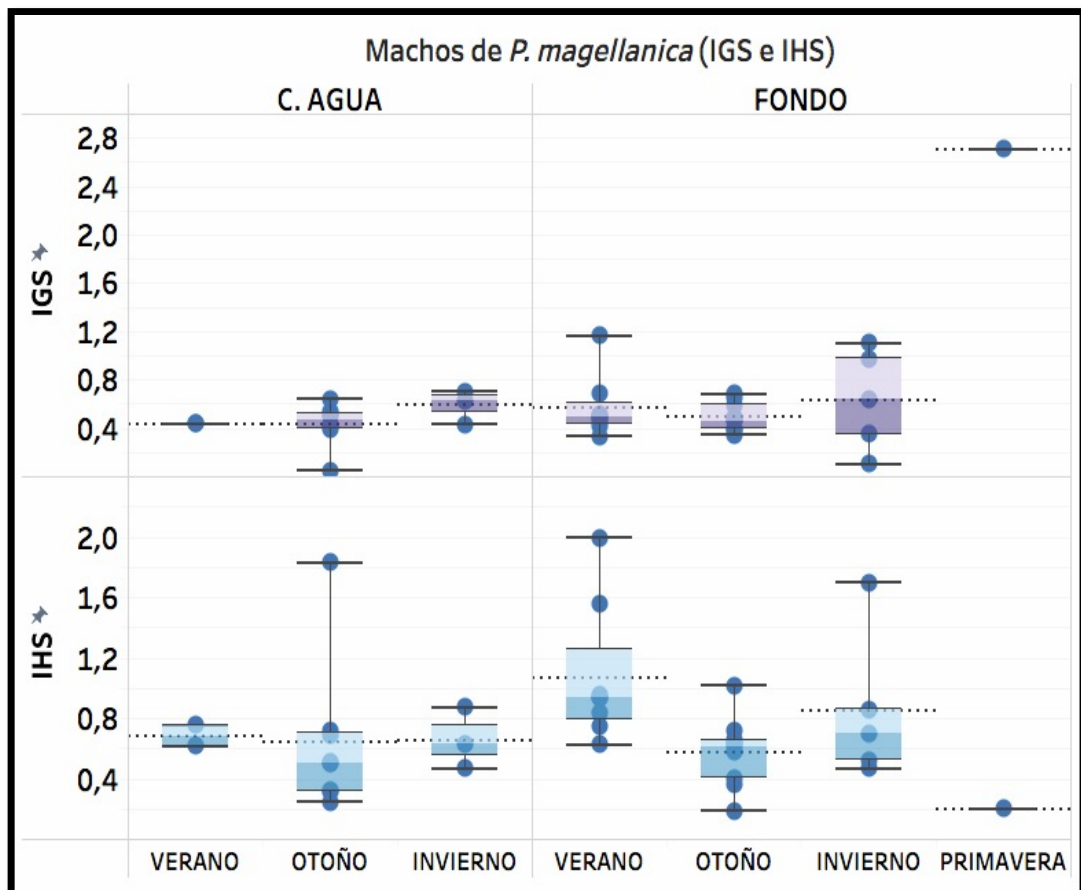
Según Rae (1991), *P. magellanica* en el estadio de maduración incipiente presenta valores del IGS de 0,94 ($\pm 0,24$) y en el estadio de maduración avanzada de 2,24 ($\pm 0,66$). Como se observa en el gráfico los promedios del IGS no alcanzan esos valores, esto concuerda con los resultados obtenidos según las tallas: la mayoría de la población capturada no había alcanzado la madurez sexual. Sin embargo, hay también individuos que presentan valores de maduración avanzada: en la columna de agua 1 individuo capturado durante el verano (6,54) y además en el fondo 2 individuos capturados durante el verano (42,85 y 28,52), 3 individuos en otoño (8,22, 15,47 y 38,22) y dos individuos en invierno (1,32 y 1,40). La época de desove de esta especie no está confirmada y la progresión de la maduración descrita por Rae (1991) no es particularmente sincronizada.

El IHS tanto en la columna de agua como en el fondo presentó los máximos valores promedio en verano, a excepción de los dos individuos

encontrados en el estrato fondo en invierno (1,17 y 1,30) lo que coincide con lo hallado por Rae & Calvo (1995_a).

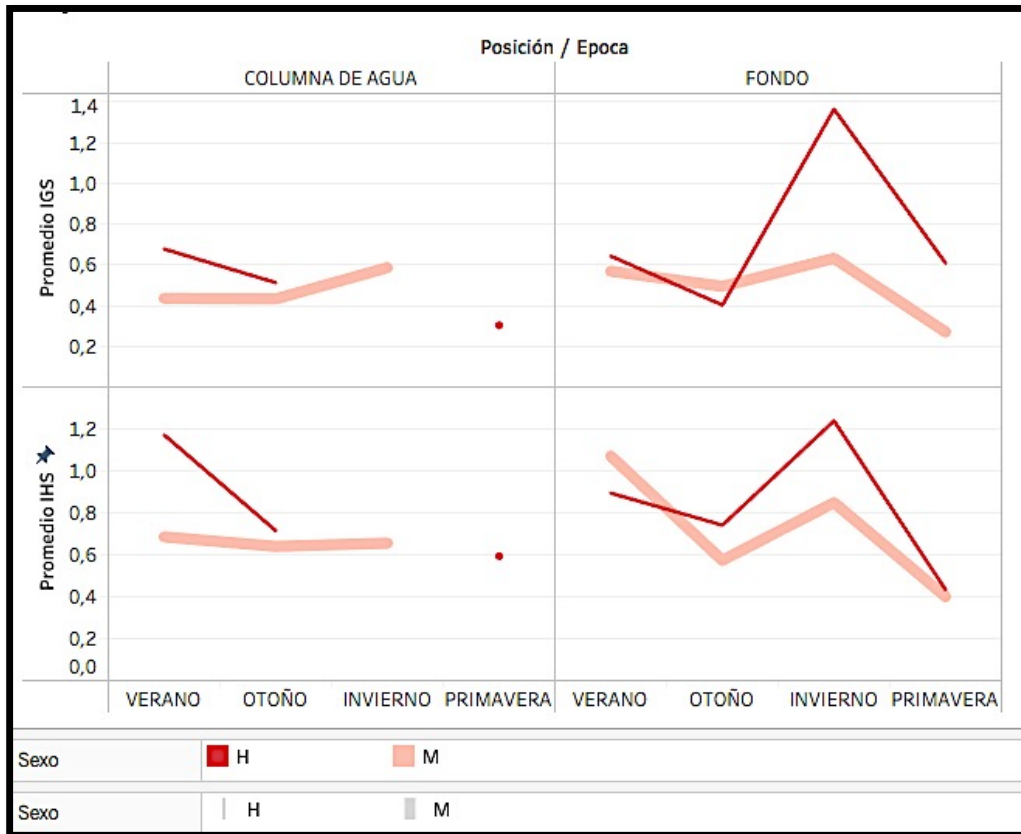
3.4.9.6 Machos de *P. magellanica*

En el estrato columna de agua no se registraron machos durante la estación primaveral y en el estrato fondo solamente se capturó un individuo cuyo IGS fue de 2,70 y su IHS de 0,21. Los valores promedio más altos del IGS se observaron durante el invierno en concordancia con las hembras (Gráfica 3.23).



Gráfica 3.23 Índices IGS e IHS de machos de *P. magellanica* en dos estratos de los bosques de *M. pyrifera* y su variación estacional. Valores promedio=línea punteada.

Durante el invierno, los machos presentan un IGS menor en el estrato columna de agua que en el estrato fondo. No se capturaron hembras en la columna de agua durante esa época (Gráfica 3.24).



Gráfica 3.24 Índices IGS e IHS de machos (línea gruesa de color salmón) y hembras (línea delgada de color rojo) de *P. magellanica* en los bosques de *M. pyrifera*

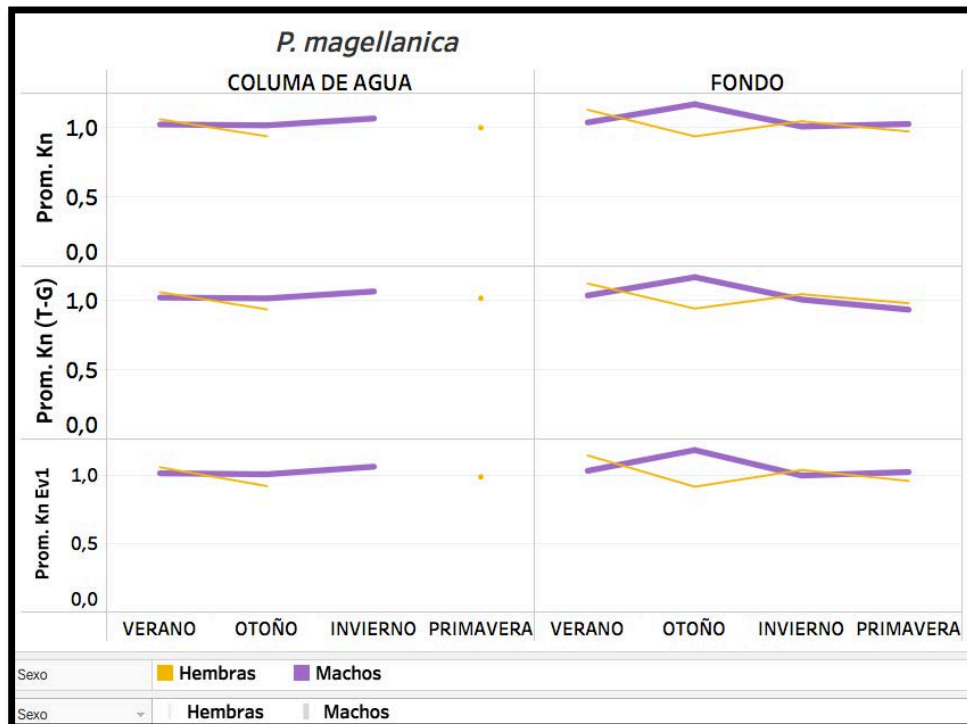
Probablemente durante la estación invernal los individuos que están listos para reproducirse migran hacia la zona reproductiva (aún desconocida) y aquellos que tienen un IGS menor, al igual que una talla menor permanecen mayormente en la columna de agua. Durante la primavera prácticamente desaparecen de la columna de agua y quedan solamente las hembras cuyo IGS es más bajo al observado en las hembras del fondo del bosque. Una vez que llega el verano, el IGS de ambos sexos aumenta y es el momento en que ambos sexos están presentes tanto en el fondo como en la columna de agua.

Si bien Rae, (1991) considera que los valores del IGS de *P. magellanica* muestran una tendencia que indica que la especie desova una sola vez por periodo reproductivo, aclara que es difícil definir la modalidad y la época del desove debido a la proporción de ejemplares inmaduros que fueron capturados en su estudio. En este estudio, también se halló una gran cantidad de individuos inmaduros que incluso impidió la determinación del

sexo (95 individuos). Nuestros resultados concuerdan con Rae (1991) en que para *P. magellanica* se observó un abrupto descenso del IGS durante la época reproductiva de los individuos. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que nuestros muestreos fueron estacionales y que esta observación fue posible solamente para el estrato fondo, dado que en el estrato columna de agua los cambios del IGS no fueron tan marcados y el número de individuos capturados fue menor.

3.4.9.7 Índices de condición relativa de *P. magellanica*

Se calcularon los valores medios mensuales y se graficaron en base a la estación de la colecta y al estrato del bosque.



Gráfica 3.25 dices Kn, Kn_(T-G) y Kn_{Ev} de *P. magellanica* en dos estratos (columna de agua y fondo) del bosque de *M. pyrifera*

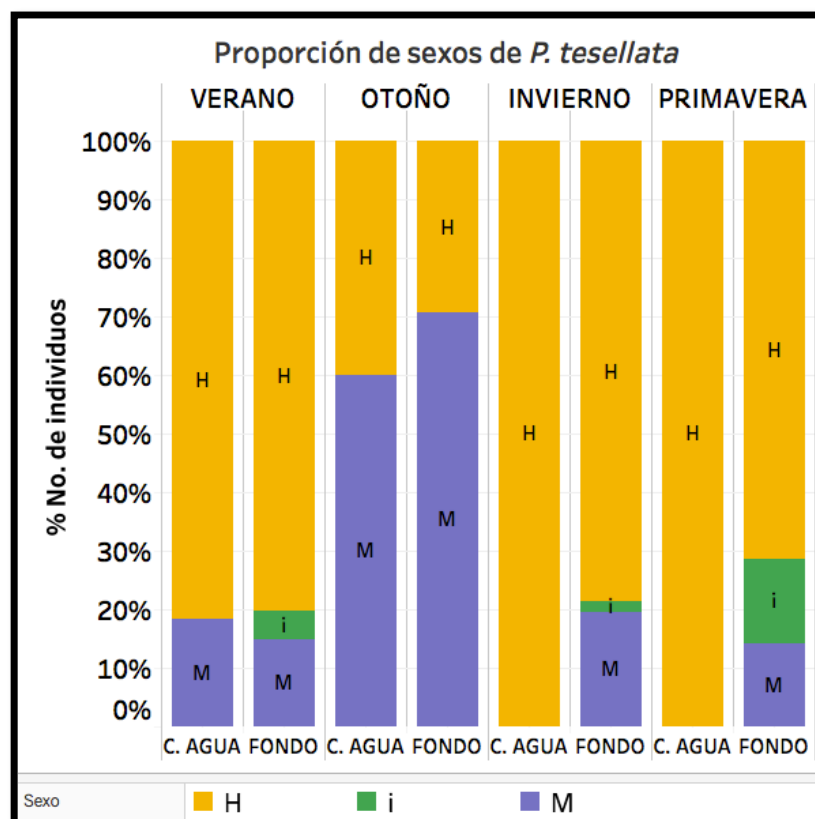
Los índices Kn, Kn_(T-G) y Kn_{Ev} siguen un patrón similar, esto indica que la fluctuación del índice de condición, sucede tanto por un aumento en el peso total (Kn) como en el peso total sin gónadas (Kn_{T-G}) y en el eviscerado (Kn_{Ev}). Los máximos valores del factor en el fondo se alcanzaron durante el

otoño en el caso de los machos y durante el verano en el caso de las hembras (Gráfica 3.25).

3.4.10 *Patagonotothen tesellata*

3.4.10.1 Proporción de sexos de *P. tesellata*

La proporción de machos y hembras en esta especie fue notoriamente desigual, predominaron las hembras. Se observó la mayor proporción de hembras en el estrato fondo durante el verano y la primavera, y en la columna de agua durante el verano y el invierno, en este último caso se capturaron solamente 3 hembras y no se capturó ningún macho en ninguno de los dos años de muestreo (Gráfica 3.26).



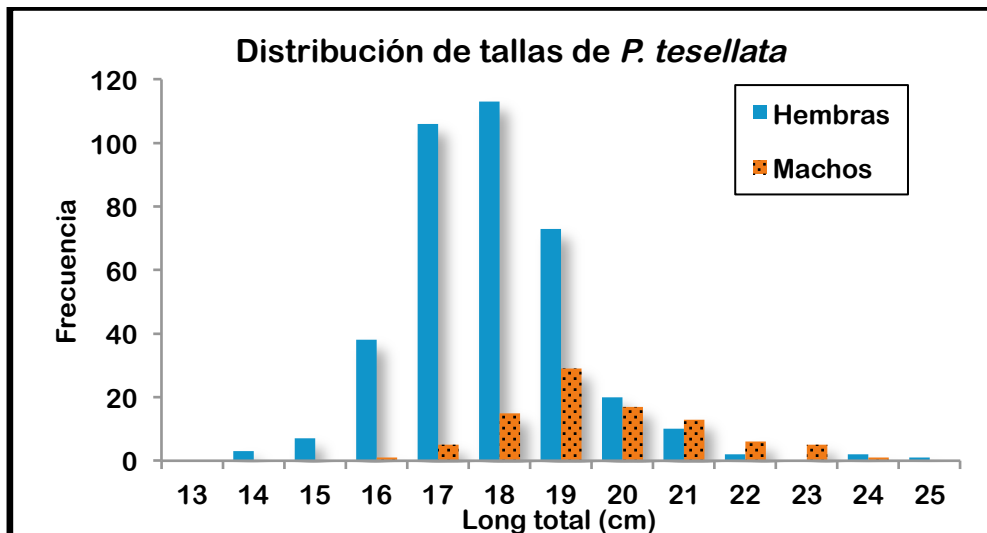
Gráfica 3.26 Proporción de hembras (H), machos (H) e indeterminados (i) de *P. tesellata* en los estratos fondo y columna de agua de los bosques de *M. pyrifera*

3.4.10.2 Distribución de frecuencias de talla de *P. tesellata*

En total se capturaron 473 individuos, 375 hembras (39-212 g Pt; 13-25 cm Lt), 92 machos (20-48 g Pt; 16-24 cm Lt) y 6 individuos de sexo indeterminado (12-46 g Pt; 14-18 cm Lt). En el caso de *P. tesellata*, a diferencia de lo hallado para *P. magellanica* se pudo determinar el sexo para la mayoría de individuos.

La mayor proporción de hembras se halló entre los 17 y 18 cm, mientras que para los machos la talla fue un poco mayor (19 y 20 cm, Gráfica 3.27). Esta diferencia coincide con los resultados obtenidos por Isla (1994) quien remarca que los machos predominan sobre las hembras en las tallas mayores (a partir de 20 cm de Lt). Además, Rae (1991) menciona un mayor volumen de la masa muscular que cubre los opérculos de los machos a partir de la primera madurez sexual; esta característica fue observada claramente durante esta investigación.

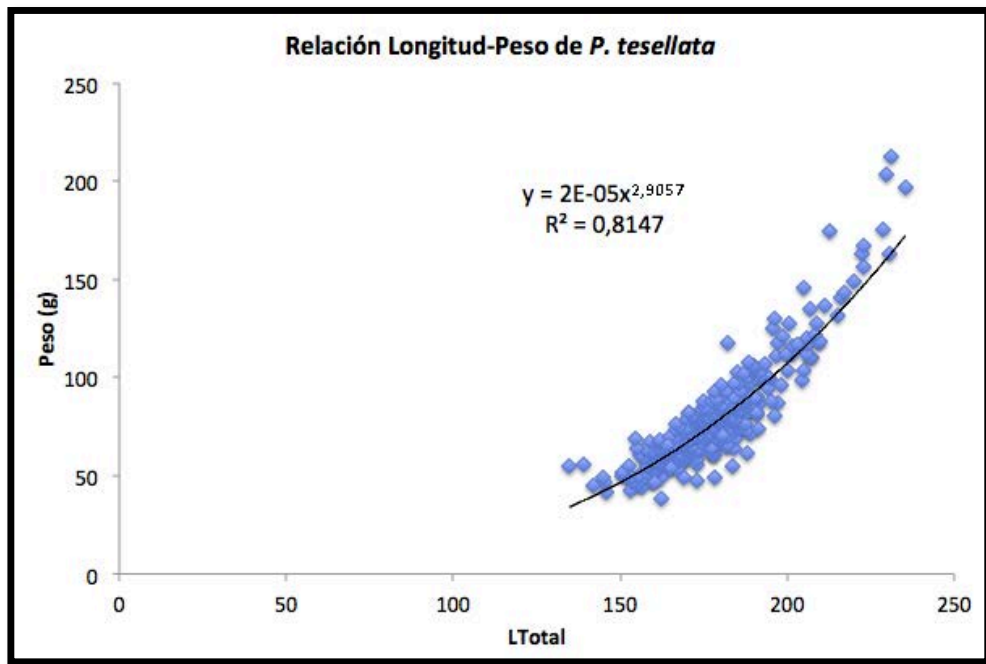
Cuando la primera madurez sexual se relaciona con la talla y/o la edad del pez, se identifica una curva (ojiva de madurez) que permite definir la talla/edad media de madurez al 50% de probabilidad de observar un individuo maduro (Mitelli & Rodrigues, 2011). La talla de la primera madurez es alcanzada por las hembras de *P. tesellata* a los 12 cm de longitud, correspondiente según Isla (1994) a los 1,85 años de edad.



Gráfica 3.27 Distribución de frecuencia de tallas de machos (barras azules y lisas) y hembras (barras punteadas y anaranjadas) de *P. tesellata* en los bosques de *M. pyrifera*

3.4.10.3 Relación longitud-peso de *P. tesellata*

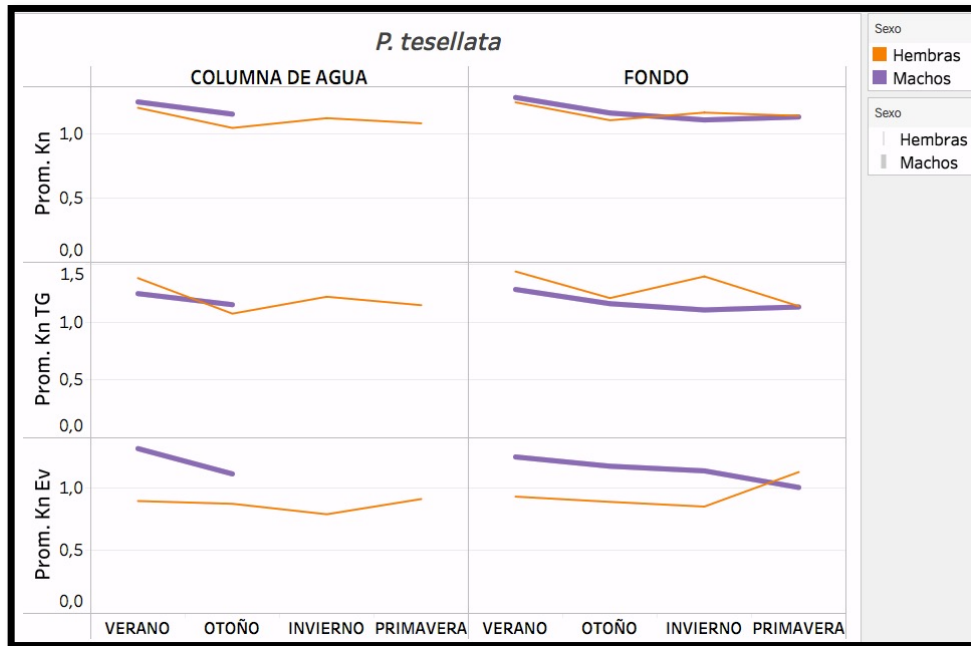
Se estimó la relación $L_T - W_T$ para *P. tesellata* y como resultado se obtuvo que el parámetro b ($2,89 < 3$) (Gráfica 3.28) refleja que esta especie tiene un crecimiento alométrico negativo, contrario a lo hallado para la especie *P. magellanica* que presentó un crecimiento de tipo alométrico positivo. Es decir que el peso de *P. tesellata* aumentaría más lentamente en relación a la longitud total de esta especie, este patrón de crecimiento corresponde a aquellas especies en las que individuos de mayor talla son más alargados que los pequeños (Froese, 2011). Sin embargo, un estudio con datos de pesca históricos del Canal Beagle dio como resultado para esta especie un $b=3.163$, y por lo tanto concluye que tiene un crecimiento alométrico positivo (Fernández et al., 2018).



Gráfica 3.28 Relación Longitud-Peso en el nototénido *P. tesellata*.

3.4.10.4 Índices de condición relativa de *P. tesellata*

Tanto el estrato de fondo como la columna de agua presentan valores de Kn mayores en verano (Gráfica 3.29).



Gráfica 3.29 Índices de condición de *P. tesellata* a través de las estaciones en el estrato fondo y columna de agua de los bosques de *M. pyrifera*. Hembras: línea delgada y machos: línea gruesa

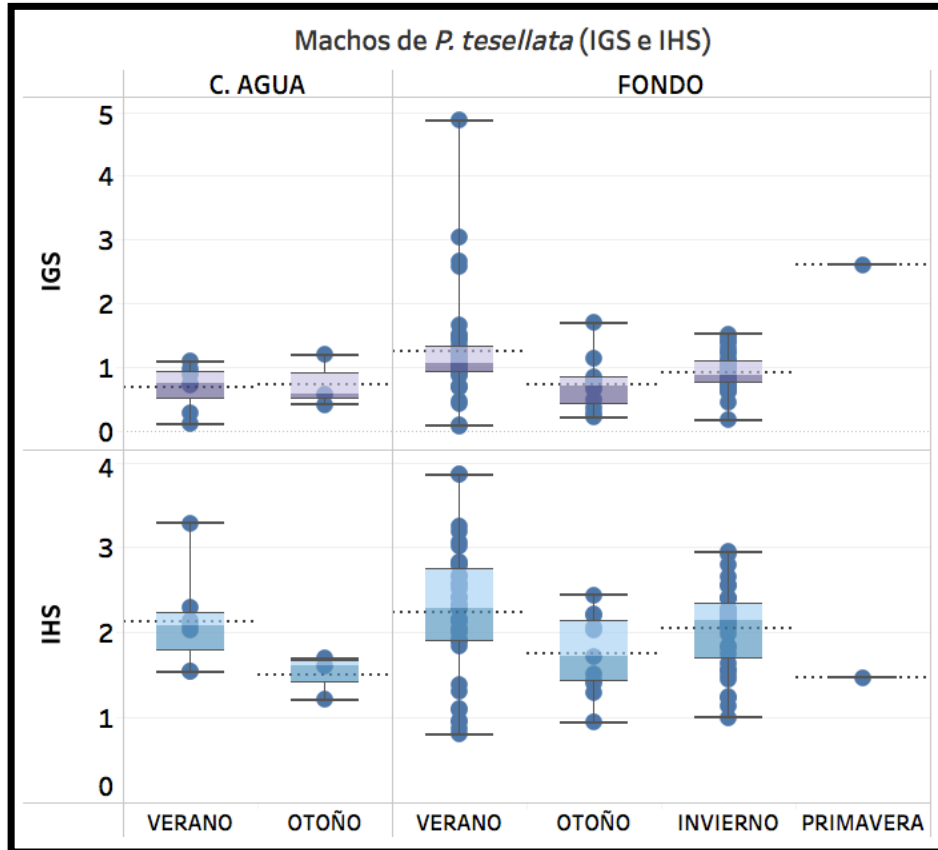
Durante el verano la macrofauna asociada al bolque de kelp aumenta considerablemente (capítulo I y IV) y según Isla (1994) y Hüne (2005) varias de estas especies son presas de *P. tesellata* (anfípodos gamarideos, nototénidos, isópodos, poliquetos) todos estos presentes en el grampón.

Los índices Kn , $Kn_{(T-G)}$ y Kn_{Ev} de las hembras siguieron un patrón similar en ambos estratos, para los machos no fue posible realizar comparaciones por falta de datos durante dos de las cuatro estaciones (invierno y primavera) en la columna de agua. Los valores promedio más altos del $Kn_{(T-G)}$ para las hembras se registraron durante el verano y el invierno coincidiendo con las dos épocas reproductivas registradas para *P. tesellata*. En el caso del Kn_{Ev} se registró un aumento del índice durante la primavera para las hembras (Gráfica 3.29).

3.4.10.5 Índice gonadosomático y hepatosomático de *P. tesellata*

En el caso del estrato fondo tanto el IGS como el IHS de los individuos machos de *P. tesellatas* siguieron el mismo patrón estacional, aumentando durante el verano, disminuyendo en otoño y alcanzando su máximo durante

la primavera (Gráfica 3.30). En el caso del estrato columna de agua los dos índices mostraron valores menores a los encontrados en el estrato fondo y su valor máximo se obtuvo durante el verano.



Gráfica 3.30 Índices IGS e IHS de los machos de *P. tesellata* en dos estratos del bosque de *M. pyrifera*. Valores promedio: línea punteada

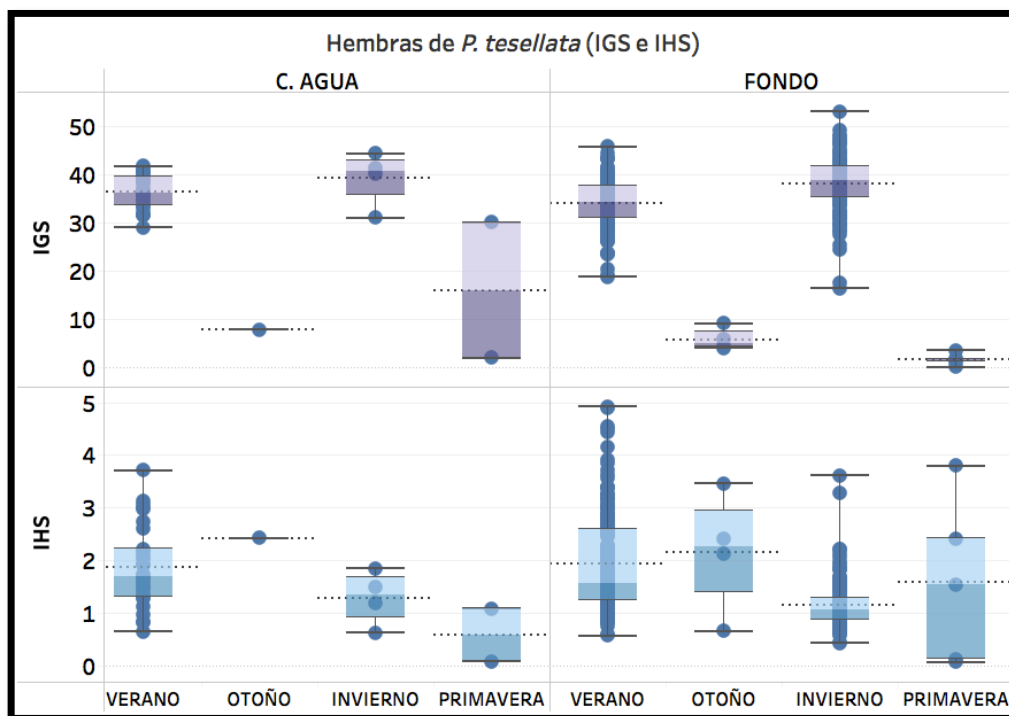
Los valores más bajos del IGS hallados en este estudio coincidieron con los resultados obtenidos por Rae (1991) y Rae & Calvo (1995_{a,b}) puesto que se presentaron durante el otoño; excepción del único individuo que se halló en primavera.

En la columna de agua, el IGS presenta valores promedio semejantes durante el verano y el otoño, durante el invierno y la primavera no se pudieron obtener datos puesto que no se capturaron individuos durante esas estaciones.

El IHS disminuye durante el otoño y la primavera, estas son las épocas que siguen a los dos periodos reproductivos de *P. tesellata*; Esto

seguramente se debe a que los machos de esta especie presentan cuidado parental, lo que implica un gran gasto energético durante el cuidado de las puestas y gran parte de esa energía es sacada del hígado y por ende el IHS desciende.

En el caso de las hembras de *P. tesellata*, tanto en el estrato columna de agua como en el estrato fondo, el IGS varió de tal manera que durante las estaciones de verano e invierno alcanzó los máximos valores. Se evidencia la diferencia de valores del IGS con los machos, siendo el de las hembras mucho más alto debido a que las gónadas durante los periodos reproductivos ocupan casi por completo la cavidad abdominal de los individuos (Gráfica 3.31). Los valores del IGS para las hembras caen dentro de los rangos reportados por Fernández et al. (2009); Rae (1991) y (Rae & Calvo, 1995_{a,b}).








Gráfica 3.31 Índices IGS e IHS de las hembras de *P. tesellata* en dos estratos del bosque de *M. pyrifera*. Valores promedio: línea punteada




En cuanto al IHS, se observó un aumento durante el otoño, época que Rae, (1991) reporta como etapa de reposo sexual, lo cual permitiría una recuperación de la energía invertida en el desarrollo de las gónadas durante los dos periodos reproductivos. También reportó que existen variaciones

interanuales de este valor, el cual estudió durante dos años consecutivos (Rae & Calvo, 1995_{a,b}).

A diferencia de los machos, las hembras no realizan cuidado parental y por lo tanto tienen un menor gasto energético después del desove; esto se ve reflejado en que el IHS de las hembras de *P. tesellata* durante el otoño y primavera no disminuye tanto como en el caso de los machos de esta especie.

3.5 CONCLUSIONES

-  Los ensambles de peces asociados al estrato fondo y columna de agua del bosque de *M. pyrifera* difieren en composición, riqueza y abundancia. El ensamble de peces asociado al estrato fondo está compuesto por un mayor número de especies que presentan abundancias más altas que las observadas en el estrato columna de agua.
-  Los ensambles ícticos asociados al bosque de kelp presentaron los valores más altos de CPUE durante el verano.
-  *P. magellanica* y *P. tesellata* son las dos especies más abundantes de los ensambles de peces asociados al bosque de kelp y son las que mayormente influyen las diferencias temporales y espaciales del ensamble.
-  La abundancia de *P. magellanica* y *P. tesellata* varía estacionalmente y es diferente en los dos estratos del bosque, estando *P. magellanica* más asociada al estrato columna de agua y *P. tesellata* al fondo, aunque ambas frecuentan los dos estratos.
-  La mayoría de individuos de *P. magellanica* capturados no habían alcanzado la madurez sexual según los valores obtenidos del IGS.

-  Los valores de los índices de condición de *P. magellanica* no presentaron un patrón claro de variación estacional.
-  Los índices de condición IGS e IHS de *P. tesellata* presentaron valores mayores en el estrato fondo en comparación al estrato columna de agua.
-  En el caso de *P. tesellata* el índice de condición Kn presentó los mayores valores durante el verano tanto en el estrato fondo como en el estrato columna de agua



Paranotothenia magellanica alimentándose de la carnada del sistema de video submarino estereoscópico

4. CAPÍTULO IV: Sistema de video submarino estereoscópico con carnada como herramienta para el estudio de la ictiofauna asociada a los bosques de *M. pyrifera* en el Canal del Beagle

4.1 INTRODUCCIÓN

La identificación de metodologías robustas dirigidas a detectar cambios espaciales y temporales de la fauna marina es un tema central en los programas de monitoreo y en el desarrollo de la investigación marina (Murphy & Jenkins, 2010). Existe una amplia variedad de métodos y técnicas que pueden ser utilizados en el estudio de los ensambles de peces (ej. censos visuales, videos submarinos, técnicas acústicas, técnicas extractivas

como uso de trasmallos, electropesca, etc.). Cada uno de estos métodos tiene ventajas y desventajas específicas con respecto al tipo de información que son capaces de proveer y al costo relativo asociado a la recolección de esa información.

La capacidad de captura de los diferentes artes de pesca puede variar según las especies de peces, las condiciones ambientales y el tipo de embarcación que se utiliza (Trenkel & Cotter, 2009). Las técnicas extractivas han sido las más ampliamente utilizadas para el estudio de los peces, sin embargo, son muy específicas del arte de pesca utilizado y restringidas a las zonas donde es permitido su uso. Además, generan un impacto sobre el ecosistema y las poblaciones estudiadas, lo cual no es deseable, especialmente en el contexto del monitoreo u otras estrategias de conservación (Pelletier, 1991). Tampoco proveen información del comportamiento de las especies capturadas ni del hábitat que estas ocupan: En contraste los videos submarinos permiten documentar el estado del hábitat y registrar datos comportamentales, lo que resulta una ventaja a la hora de realizar estudios con enfoque ecosistémico y/o en áreas marinas protegidas Langlois et al. (2006) y Yoccoz & Boulinier (2001).

Las primeras fotografías del fondo del mar fueron tomadas con cámaras primitivas que datan de 1850. Pero solo a partir de 1930 con la invención de la junta tórica (*o-ring*) el video submarino empezó a ser utilizado (Shortis et al., 2007). A mediados de 1940 se diseñaron los primeros equipos de video submarino con el objetivo de realizar la reparación de equipos marinos; posteriormente, para la exploración de naufragios, también de sitios arqueológicos sumergidos y del fondo marino en general (Shortis et al., 2007). El primer trabajo publicado que reporta el uso de video submarino en los ambientes costeros, data de finales de la década del 40 por parte de la *Scottish Marine Biological Association of Millpor* que desarrolló un programa de video bajo el agua en 1948 probado en el Acuario de la sociedad Zoológica de Londres (Mallet & Pelletier, 2014). Con el desarrollo tecnológico se construyeron cámaras estereoscópicas sincronizadas que fueron utilizadas por primera vez en la década de los 80, con el fin de obtener la medida de las especies tanto móviles como epibentónicas. Uno de los primeros estudios fue realizado por Klimley &

Brown (1983) para medir tiburones. En la década de los 90 se produjo la introducción de las videocámaras portátiles submarinas y el primer uso de secuencias de imágenes de vídeo digitales, mejorando la versatilidad de los sistemas de filmación y la eficiencia de adquisición de datos (Shortis et al., 2007). Actualmente, las aplicaciones del video submarino en el estudio de la ictiofauna varían en complejidad, desde sistemas simples de filmación operados por buzos hasta sistemas remotos multi-cámara de transmisión constante de imágenes. Con estos sistemas se pueden evaluar hábitats marinos (Koenig et al., 2005; Carbines & Cole, 2009), estudiar ensambles de peces (Harvey et al., 2012; Gardner & C, 2012), realizar análisis del comportamiento de diferentes taxones (Albert et al., 2003) y obtener datos puntuales como registros y medidas en 3D de la capacidad natatoria de los peces (Neuswanger, 2014).

Existen diferentes tipos de sistema de video submarino, por ejemplo, están los sistemas enlazados (*linked systems*, en inglés) que son sistemas de observación permanente que utilizan cables para el suministro de energía y transferencia de información, y los sistemas de video remoto que funcionan con baterías y de manera independiente. Dentro de la categoría de los videos remotos pueden existir sistemas de video submarino con carnada y sin carnada. Los sistemas de video submarino remoto con carnada, (BRUVS: *Baited Remote Underwater Video System* en inglés) proveen un amplio campo de visión para observar el área alrededor de una carnada que se localiza cerca de la cámara y es utilizada para atraer a los peces (Willis et al., 2000; Heagney et al., 2007).

En este estudio se decidió utilizar sistemas de video estereoscópico submarino remoto con carnada teniendo en cuenta que la abundancia de peces es mayor cuando se emplea esta metodología (Munro, 1974; Newman, 1990; Whitelaw et al., 1991; Stobart et al., 2007; Archdale et al., 2008). Además de las especies que son atraídas por la carnada, típicamente las que emplean estrategias alimenticias predatorias o de forrajeo, también serían atraídas otras especies por razones distintas a la búsqueda de cebos, como movimientos aleatorios, curiosidad por la estructura de filmación y/o el comportamiento de otros peces (Newman et al., 2012; Dorman et al., 2012). Los BRUVS han sido principalmente usados para estudios de variación




espacio-temporal en los ensambles de peces arrecifales, también para conocer la influencia de la profundidad y otras características ambientales sobre la distribución de las especies, así como el efecto de las áreas marinas protegidas sobre la biodiversidad (Cappo et al., 2006). Los BRUVS se pueden realizar con una o dos cámaras. Cuando se realizan con dos cámaras se genera una imagen en 3D, puesto que se graba la misma escena al mismo tiempo desde dos ángulos diferentes (estéreo-BRUVS). Las imágenes obtenidas por las dos cámaras son sincronizadas mediante un ordenador en base a un LED que pueda ser visto por ambas cámaras al mismo tiempo obteniendo entonces una imagen en 3D que tiene en cuenta la profundidad, logrando así, aumentar la precisión de las medidas y medir cualquier objeto que sea captado por ambas cámaras independientemente de su orientación en relación a las mismas. Esta técnica fue desarrollada por Harvey & Shortis (1996) para mejorar la estimación de la talla de los peces. El video estereoscópico ha mostrado que provee estimativos muy exactos de la talla de los peces (Harvey et al., 2001; Harvey et al., 2001b; Harvey et al., 2002a,b; Harvey et al., 2004; Cappo et al., 2006).

Según Whitmarsh et al. (2016), quien revisó los artículos de BRUVS publicados en los últimos 66 años, esta técnica ha sido empleada en todos los continentes e igualmente en aguas internacionales. En Oceanía es donde los BRUVS han sido mayormente empleados (70%) con Australia contribuyendo en un 61 %, seguido por Norte América y Europa y otros continentes con pocos estudios: África (6), Asia (6) y Sur América (3) junto con Antártida (3).

En la región de la Patagonia algunos autores han utilizado el buceo submarino para realizar censos visuales (Adami & Gordillo, 1999; Galván, 2008; Galván & Venerus 2009; Irigoyen et al., 2013), además Trobbiani & Venerus (2015) utilizaron un sistema de video de una sola cámara para estimar la longitud de los peces carnívoros de los arrecifes patagónicos. Nuestro trabajo es pionero en Argentina, tanto en el uso de BRUVS estereoscópicos como en el diseño de los sistemas de filmación submarina específicos para el estudio de la ictiofauna asociada al fondo y a la columna de agua de los bosques de kelp. En este capítulo se estudia la ictiofauna asociada a dos estratos del bosque de kelp de *M. pyrifera* en el Canal

Beagle (columna de agua y fondo), mediante el uso de dos sistemas de video submarino remoto con carnada.




4.2 OBJETIVOS


-  Diseñar sistemas de video remoto estereoscópico con carnada para caracterizar los ensambles de peces asociados al fondo y a la columna de agua de los bosques de kelp de *M. pyrifera*.
-  Estudiar la macrofauna no ictica asociada a los bosques de *M. pyrifera* mediante videos submarinos en el estrato fondo y columna de agua.
-  Analizar la dinámica espacial y temporal de los ensambles de peces asociados a tres bosques de *M. pyrifera* en el Canal del Beagle a través de BRUVS.

4.3 MATERIALES Y MÉTODOS

4.3.1 Sistemas de filmación submarina

Se diseñaron dos sistemas de video submarino que cumplieran los siguientes requisitos:

-  que el sistema de video tuviera una definición de imagen suficientemente alta para realizar mediciones de longitud total de los peces con una buena precisión.
-  que su construcción no fuera excesivamente costosa.
-  que fueran suficientemente resistentes para soportar el traslado en embarcaciones y funcionaran en las condiciones extremas de las aguas del Canal Beagle

 que los modelos fueran suficientemente livianos y compactos para ser trasladados e instalados dentro del bosque de kelp.

4.3.2 Diseño de los sistemas de video

Inicialmente, sobre una barra de 60 centímetros, se ubicaron dos soportes inamovibles para las carcacas de las cámaras de filmación, montándolos de manera que las cámaras estuvieran a una distancia de 30 cm (medidos desde el centro del lente de cada cámara). A esta misma barra se le añadió una varilla con un soporte para ubicar una linterna submarina y otra varilla de 50 cm para colgar la carnada. La varilla que soportaba la carnada también servía de medida de referencia, pues estaba demarcada con colores cada 1 cm, 3 cm y 5 cm.

El sistema de filmación consistió de dos cámaras GoPro HD-Hero 2 *outdoor edition*, con un lente profesional 2x, campo de visión panorámico de 170°, resolución de 1920 x 1080p, 30FPS, sensor de imagen CMOS 1 /2,3" CMOS de alto rendimiento, sensibilidad a la luz: .84 V/lux-sec. A cada una de estas cámaras se les añadió una batería recargable de 1100 mah de iones de litio y una carcasa para buceo con corrección del efecto ojo de pez. La linterna utilizada fue una Ikelite Pca LED de 205 lúmenes y la carnada siempre consistió en 85 gr de atún desmenuzado en aceite mezclado con 40 gr de pan blanco.

4.3.3 Calibración y corrección de los sistemas de video

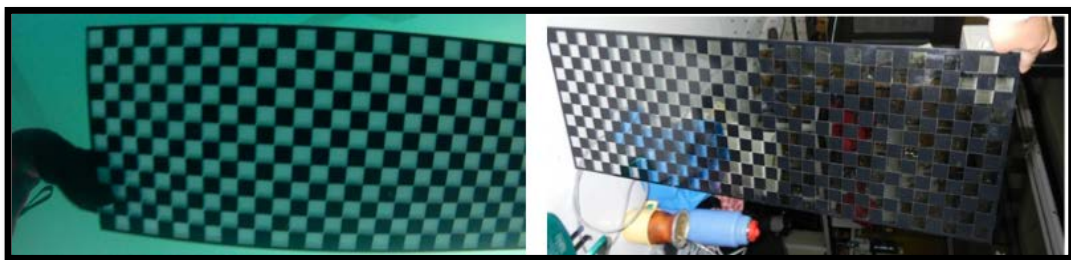
Con el objetivo de calibrar las cámaras para poder realizar mediciones basadas en imágenes 3D, se construyó un cubo con un panel delantero de acrílico de 6 mm de espesor y un panel posterior de PVC de alto impacto de 10 mm de espesor. Los dos paneles de 70 cm de largo por 40 cm de ancho están unidos por cuatro barras de aluminio de 50 cm de longitud. El panel delantero es transparente y contiene círculos de 1 cm de diámetro separados entre sí, desde su centro, por 5 cm de longitud. Cada uno de

estos círculos tienen un reborde de color negro y están divididos en cuatro cuartos de color blanco y negro. Además de los círculos, el panel tiene un cuadrado y un triángulo de color negro ubicados asimétricamente. En el caso del panel posterior, tiene un fondo de color blanco y los círculos dibujados en él tienen un diámetro de 3 cm y están separados entre sí por 10 cm de centro a centro. También tienen un reborde de color negro y están divididos en cuatro cuartos de color blanco y negro (Fotografía 4.1).



Fotografía 4.1 Cubo de acrílico construido para la calibración de las cámaras con la matriz 3D

Por otra parte, para corregir la distorsión de los lentes se construyó un tablero de 60 cm por 40 cm con dibujos de cuadrados negros y blancos de 2 cm² (Fotografía 4.2). Estas dos estructuras fueron filmadas con el sistema de video submarino y las tomas obtenidas se utilizaron en la calibración y corrección de todos los vídeos.



Fotografía 4.2 Tablero para corregir la distorsión de los lentes de las cámaras

4.3.4 Precisión de las medidas obtenidas con los sistemas de video

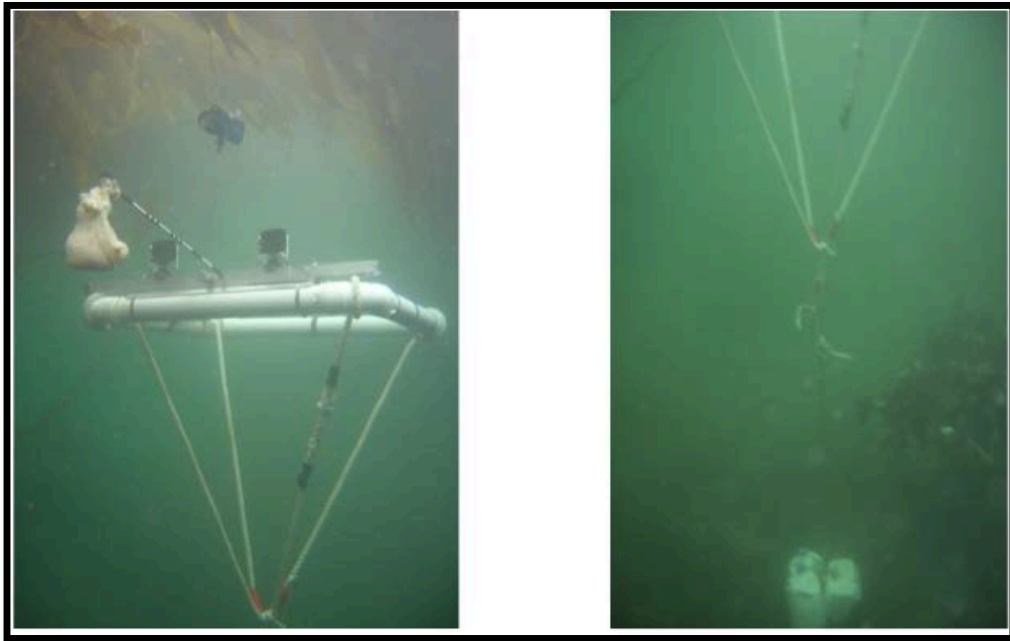
Una de las principales herramientas en la caracterización de la estructura poblacional es la distribución de las tallas de las especies. Las

mediciones de las tallas se deben hacer con la máxima precisión posible ya que los errores en las medidas afectan la confiabilidad en los resultados. En el caso de los BRUVS, la calibración de las cámaras es de suma importancia para lograr que el sistema tenga la máxima precisión posible. Además, la determinación de la orientación relativa de las dos cámaras es vital para la correcta estimación de la longitud de los peces y cualquier variación llevará inevitablemente a errores sistemáticos de la medida de las tallas (Harvey & Shortis, 1998).

Durante el transporte e instalación del sistema de video es probable que se cambie inadvertidamente la posición de las cámaras, por lo que es importante tener siempre un patrón de referencia de medición en cada uno de los videos (en el caso de este estudio una varilla de mediciones conocidas). Esto permitió corroborar que la precisión del sistema no se haya visto afectada. A fin de conocer la confiabilidad del sistema, teniendo en cuenta el patrón de referencia de medición, es aconsejable calcular la precisión del dispositivo de filmación empleado. La precisión de las medidas obtenidas mediante los (BRUVS) se evaluó al calcular la diferencia entre las mediciones realizadas en los videos a una varilla de tamaño conocido fijada en el sistema de filmación y la medición real de varilla. Para cada uno de los videos realizados se midió la varilla en al menos tres lugares diferentes, completando un total de 144 mediciones.

4.3.5 Sistema de video submarino remoto con carnada para la columna de agua

Uno de los desafíos del diseño del sistema de columna fue lograr que tuviera una flotabilidad neutra para que se mantuviera equilibrado a una altura determinada dentro del bosque. Tras varios intentos, finalmente se empleó un cuadrado de PVC de 85 cm por 85 cm atado por cuatro cuerdas a un peso muerto de aproximadamente 10 Kg. (Fotografía 4.3 y 4.4).



Fotografía 4.3 Diseño del sistema de video submarino con carnada para la columna de agua en el bosque de *Macrocystis pyrifera*

Para regular la altura a la cual se realizaban las filmaciones el largo de la cuerda era ajustado mediante nudos y una vez que se obtuvo la altura deseada, se atornillaba la barra que contenía el sistema de filmación.



Fotografía 4.4 Diseño del sistema de video submarino con carnada para la columna

4.3.6 Sistema de video submarino remoto con carnada para el fondo



Fotografía 4.5 Instalación del sistema de video remoto con carnada para el fondo submarino

Para el sistema de fondo fue necesario construir una estructura robusta y firme que pudiera soportar las corrientes marinas. Al mismo tiempo, debía ser liviano y compacto para facilitar su traslado a través del bosque de Kelp evitando que quedara enganchado con las frondes de *M. pyrifera*. En este caso, se adaptaron dos trípodes de aluminio, los cuales fueron modificados realizando perforaciones en cada una de las barras de los mismos para permitir el ingreso y egreso del agua. Además, se cambiaron los tornillos de hierro por tornillos de acero inoxidable para evitar la corrosión causada por la sal del agua marina y se adaptaron unas estructuras sobre la base de los trípodes para poder atornillar la barra contenedora del sistema de filmación, todo esto conservando la capacidad plegadiza de los trípodes para que el sistema fuera lo más sencillo posible (Fotografía 4.5).

4.3.7 Diseño de muestreo

Las filmaciones se realizaron en los mismos tres bosques de *M. pyrifera* del Canal Beagle que estudiamos a lo largo de la Tesis (ver capítulo I), durante un período de dos años y una frecuencia estacional durante los años 2013 y 2014.

4.3.8 Trabajo de campo

Dentro de cada uno de los bosques de *M. pyrifera* se eligió un lugar con buena luminosidad para instalar el sistema de filmación. Durante este proceso se contó con tres buzos capacitados para bucear en aguas frías y manipular el equipo.

En el caso del BRUV de fondo, el equipo de filmación era sumergido lentamente por los buzos hasta llegar a los 7-10 m de profundidad, una vez allí era instalado por un solo buzo para minimizar al máximo las perturbaciones en el área. La instalación consistía en fijar apropiadamente las bases de los trípodes, enterrando aproximadamente 5 cm las barras de los mismos para evitar que las corrientes marinas pudieran volcar el sistema. Posteriormente se realizaba una revisión de las cámaras y se encendía la linterna y finalmente se ponía la carnada. Inmediatamente finalizada la instalación del sistema de filmación, los tres buzos se alejaban de la zona y ascendían a la superficie para mantenerse en el bote durante una hora, momento en el cual el sistema era recuperado.

En cuanto a las filmaciones en la columna de agua la instalación consistió en colocar el sistema a 3 metros por debajo de la superficie del agua y se procedía con los mismos pasos ya explicados en la instalación del sistema de filmación de fondo.

Se reportan a continuación las 24 variables que Whitmarsh et al. (2016) propuso utilizar para facilitar la comparación de los resultados obtenidos a través de estudios realizados con BRUVS, luego de revisar 161 artículos publicados desde 1950 hasta el 2016 (Tabla 4.1).

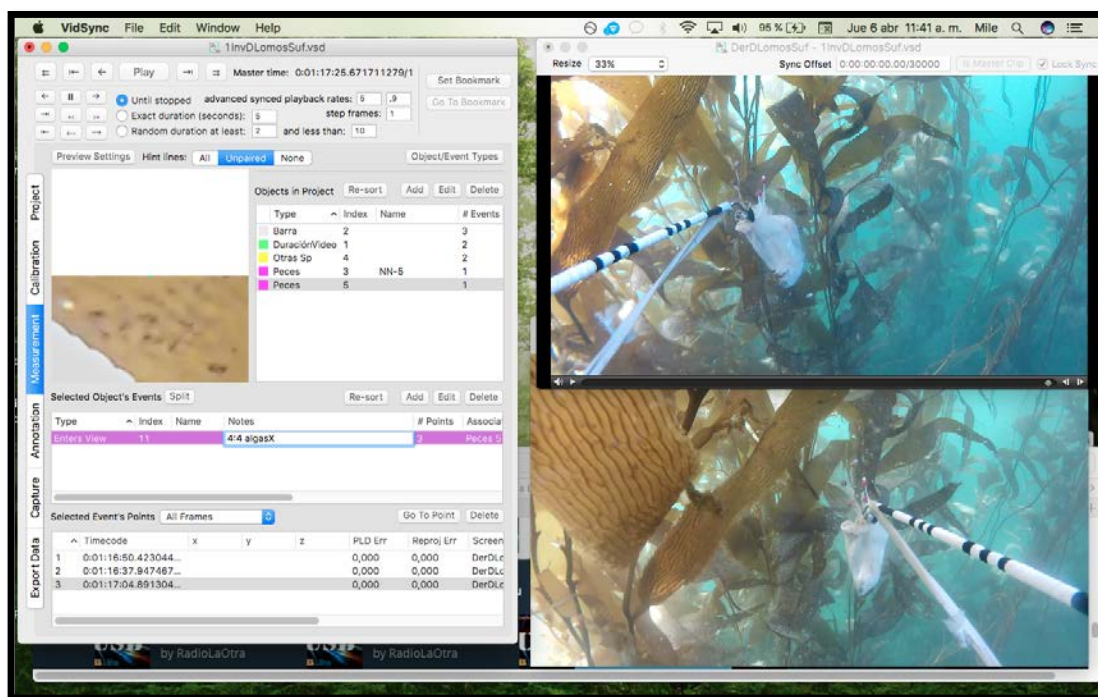
Tabla 4.1 Tabla de variables sugeridas por Whitmarsh et al. (2016) empleadas en este estudio

VARIABLE	RESPUESTA
Cómo y Cuándo	
año de Publicación	2018
lugar de estudio	Sur América, Argentina, Canal del Beagle,
área geográfica	Sub Antártica
ámbito acuático	marino
tipo de Hábitat	bosque de kelp de <i>M. pyrifera</i>
Sistema de video	
nombre del sistema	estéreo-BRUVSca y BRUVSf
orientación de las cámaras	horizontal
número y tipo de cámaras	2, GoPro HD Hero 2
tipo de medida de la talla de los individuos	longitud total y longitud estándar
máximo rango de visibilidad	visión panorámica de 170°
tiempo de inmersión	60 minutos
distancia entre réplicas	no aplica
Relacionado a la carnada	
tipo	atún y pan blanco
cantidad	85 g de atún en aceite y 40 g de pan blanco
método de preparación	desmenuzado y mezclado manualmente
método de emplazamiento	bolsa de malla
Relacionado a la instalación	
profundidad mínima	7 m
profundidad máxima	10 m
variación de la profundidad	3 m
Diseño de muestreo y análisis	
número de réplicas	3 bosques
medida métrica usada	No de individuos por especie
Software usado	VidSync
Taxa incluida	Actinopterygii, Asteroidea, Aves, Bivalvia, Gastropoda, Malacostraca, Mammalia, Polychaeta, Tentaculata
% de especies identificadas en un nivel taxonómico	76,81 % identificados a nivel de especie

4.3.9 Trabajo de laboratorio

Al terminar el trabajo de campo, se procedía inmediatamente a la limpieza cuidadosa de todos los equipos tanto de filmación como de buceo y a la descarga de los vídeos obtenidos para su posterior análisis. Los vídeos se analizaron con el software VidSync (Neuswanger et al., 2016), mediante los siguientes pasos (Fotografía 4.6):

1. Carga de los dos vídeos (cámara derecha e izquierda) en el software y creación de un proyecto.
2. Elección de un “Master Clip” (vídeo maestro) para facilitar la manipulación de las tomas.
3. Sincronización de los vídeos: se lleva a cabo utilizando como referencia un destello realizado con la luz de la linterna al inicio de cada filmación y visible para las dos cámaras
4. Calibración: durante este proceso se relacionan espacialmente las cámaras entre sí y se corrige la distorsión de los lentes. Se emplean las imágenes obtenidas de la filmación del tablero y del cubo según las indicaciones para el software VidSync.
5. Registro de medidas y anotaciones pertinentes a cada vídeo.



Fotografía 4.6 Análisis de los sistemas de video submarino mediante el software VidSync

4.3.10 Análisis estadístico

La identificación de las especies de peces observadas se realizó utilizando como referencia los trabajos de Gosztanyi (1977), Fisheer & Hureau (1988), Pequeño (1989), Lloris & Rucabado (1991), Anderson & Gosztanyi (1991) y López et al. (1996). Se estimó la abundancia para cada una de las especies, se midió la longitud total de cada uno de los individuos (mm), la velocidad de natación (m/segundo) y se registraron diversos comportamientos, así como la presencia de otras especies no ícticas. En el caso de la abundancia, para evitar conteos múltiples de un mismo individuo, se procedió a comparar una serie de mediciones como: longitud estándar, longitud total, diametro del ojo, altura máxima del cuerpo, altura del pedúnculo, longitud cefálica etc. y se tenían también en cuenta otras características como la coloración, cicatrices y otros rasgos particulares.

Con el fin de jerarquizar las especies registradas se realizó un gráfico de Olmstead-Tukey (ver capítulo I) que permitió determinar cuáles son las especies raras, ocasionales, abundantes y constantes.

Por otra parte, para analizar cómo se agrupan las campañas de muestreo según los factores época, lugar, estrato y año se realizó un MDS

(ver capítulo I). Esta gráfica permite visualizar cuales de las 48 campañas de muestreo (8 tiempos x 3 sitios en el Canal del Beagle x 2 estratos del bosque) están más alejadas o más cercanas según la similitud de los datos entre ellas.

Mediante un PERMANOVA se comprobó si existían diferencias significativas de los factores y entre los diferentes factores. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos con el PERMANOVA se decidió realizar un *Pairwise Test* para conocer entre que niveles de los factores se dieron esas diferencias.

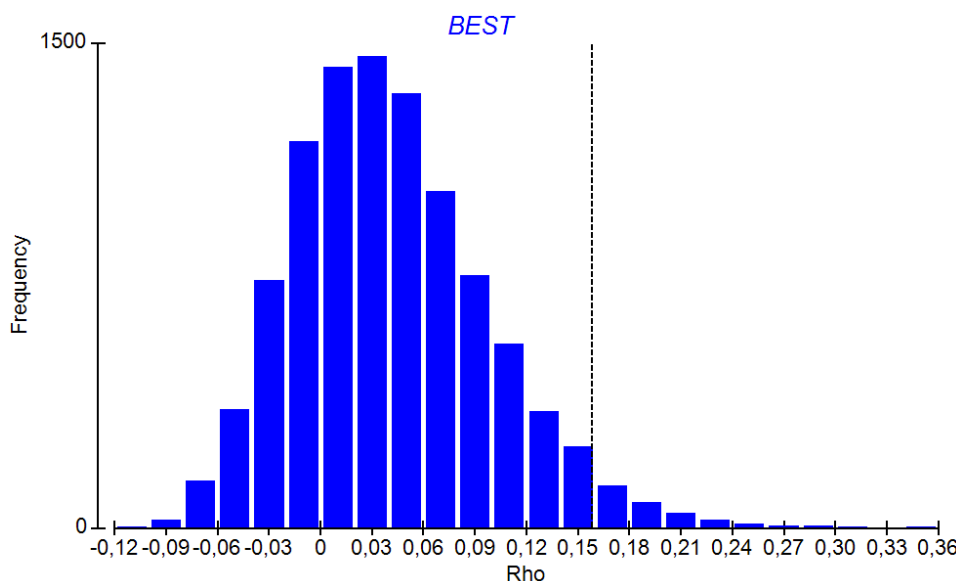
La relación de las variables ambientales con la estructura de los ensambles se analizó mediante una rutina BEST+BIOENV (Clarke & Gorley, 2006) del software PRIMER v6+. Para probar si estas variables tienen una significancia estadística se realizó un Global BEST *match permutation test*.

Por otra parte, para analizar la frecuencia de tallas de los individuos de *P. magellanica* se agruparon los individuos capturados en intervalos de 1 cm de LT y se realizó una descomposición de la distribución polimodal siguiendo el trabajo realizado por (Balboni et al., 2011). Las diferencias de talla entre los peces registrados con las cámaras y los trasmallos se analizó mediante un Test de Kolomogorov-Smirnov, este test también se realizó para estudiar las diferencias entre los estratos fondo y columna de agua.

4.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.4.1 Vinculación de las diferencias en los ensambles ícticos con los patrones de las variables ambientales

La variable más fuertemente correlacionada con los ensambles de peces fue la transparencia (p real = 0,158, BEST+BIOENV), seguida del conjunto transparencia-temperatura (p real= 0,147). Estas correlaciones no resultaron estadísticamente significativas (Global BEST match permutación test, Gráfica 4.1).



Gráfica 4.1 Test de permutación global BEST (PRIMER V6+) donde se muestra el valor p real: 0,158 (líneas punteadas) y los p obtenidos por 999 permutaciones.

4.4.2 Caracterización de la macrofauna asociada a *M. pyrifera* mediante video submarino

4.4.2.1 Composición específica de la macrofauna

Los BRUVS no solamente registran especies atraídas por la carnada, también registran especies que eventualmente están presentes en el campo de visión (Cappo et al., 2006). Entonces, si bien el sistema de video submarino con carnada se diseñó a fin de estudiar la ictiofauna, otras especies no ícticas también fueron registradas.

Mediante las observaciones realizadas a partir de los videos se hallaron representadas 19 especies pertenecientes a 9 clases. La clase mejor representada en términos de especies fue Malacostraca (6 especies), seguida de Gastrópoda y Actinopterygii (3 especies); Asteroidea con dos especies y finalmente Aves; Mammalia; Polychaeta; Bivalvia y Tentaculata con una sola especie (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Especies encontradas en el bosque de *M. pyrifera* en el Canal del Beagle mediante video submarino en los estratos: fondo y la columna de agua

	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
	C. de Agua	Fondo	C. de Agua	Fondo	C. de Agua	Fondo	C. de Agua	Fondo
AÑO 2013								
Actinopterygii								
<i>Paranotothenia magellanica</i>	P	P		P	P			P
<i>Patagonotothen tessellata</i>		P				P	P	P
Nototheniidae	P	P	P	P	P	P	P	P
Asteroidea								
<i>Anasterias antarctica</i>					P	P		
<i>Comasterias lurida</i>								P
Bivalvia								
<i>Gaimardia trapesina</i>			P					
Gastropoda								
<i>Nacella sp.</i>			P					
<i>Xymenopsis sp.</i>				P				
Malacostraca								
<i>Eurypodius latreillii</i>		P		P	P	P		P
<i>Lithodes santolla</i>		P		P	P	P		P
<i>Munida gregaria</i>		P					P	P
<i>Pagurus comptus</i>								P
<i>Paralomis granulosa</i>	P					P		
<i>Peltarium spinosulum</i>		P						
Mammalia								
<i>Arctophoca australis</i>					P			
Polychaeta								
Tentaculata								
AÑO 2014								
Actinopterygii								
<i>Paranotothenia magellanica</i>	P	P	P	P				P
<i>Patagonotothen tessellata</i>								P
Nototheniidae (Sp1)	P	P	P	P		P	P	P
Aves								
<i>Phalacrocorax sp.</i>				P				
Gastropoda								
<i>Margarella violacea</i>		P		P				
<i>Xymenopsis sp.</i>				P				
Malacostraca								
<i>Eurypodius latreillii</i>		P	P	P				P
<i>Lithodes santolla</i>	P	P						
<i>Munida gregaria</i>		P		P				
<i>Paralomis granulosa</i>				P				
Tentaculata								
	P		P				P	P

En el estrato fondo se registraron casi todas las especies (16 de 19), a excepción de tres: el lobo marino *Arctophoca australis*, el bivalvo *Gaimardia trapesina* (que vive sobre las frondes de *Macrocystis*) y la lapa *Nacella sp.*. En el estrato columna de agua se registraron 12 de las 19 especies documentadas (Tabla 4.2). Las 7 especies no registradas en la columna de agua fueron: *Comasterias lurida*, *Phalacrocorax*, *Margarella violacea*,

Xymenopsis sp., *Pagurus comptus*, *Peltarium spinosulum* y el taxon *Polychaeta*.

El mayor número de especies se registró en isla Conejo (15), seguida de isla Dos Lomos (12) y finalmente de Isla Bridges (9). Este ordenamiento de mayor a menor número de especies en las islas coincide con el descripto para los grampones en el capítulo I.

Durante el otoño se registró el mayor número de especies (12), seguido del invierno y el verano 10, y por último de la primavera con 9 especies. Temporalmente se registró una disminución del número de especies comparando los dos años estudiados; durante el 2013 se hallaron 17 especies mientras que durante el 2014 se registraron 11 especies (Tabla 15).

4.4.2.2 Abundancia de la macrofauna

La abundancia total fue de 358 individuos, de los cuales 246 fueron peces. El nototénido *P. magellanica* presentó una abundancia de 147 individuos, *P. tesellata* de 16 individuos y se registraron 83 ejemplares de la familia Notothenidae, a la que pertenecen las dos especies antes mencionadas (32 en la columna de agua y 51 en el fondo) cuya identificación a nivel de especie no fue posible. El segundo grupo mejor representado fue Malacostraca con 90 ejemplares, siendo la langostilla *Munida gregaria* la más abundante (39 individuos: 1 en columna de agua y 38 en el estrato fondo).

En términos espaciales, la abundancia en el estrato fondo fue mayor (275 individuos) que en el estrato columna de agua (83 individuos). No existen, según nuestro conocimiento, trabajos que analicen la abundancia de la macrofauna del bosque en dos estratos. En términos temporales, la mayor abundancia fue mayor durante el verano (225 individuos), seguido del otoño (55), la primavera (48) y finalmente el invierno (30 individuos). La variación interanual fue mínima, 178 individuos en 2013 y 180 individuos en 2014.

En la Isla Dos Lomos se registró la abundancia más alta con 145 individuos, seguida de la Isla Conejo (121) y el menor número de individuos se registró en Isla Bridge (92) (Tablas 4.3 y 4.4).

Tabla 4.3 Abundancia de la macrofauna asociada a los bosques de *M. pyrifera* del Canal Beagle durante el año 2013

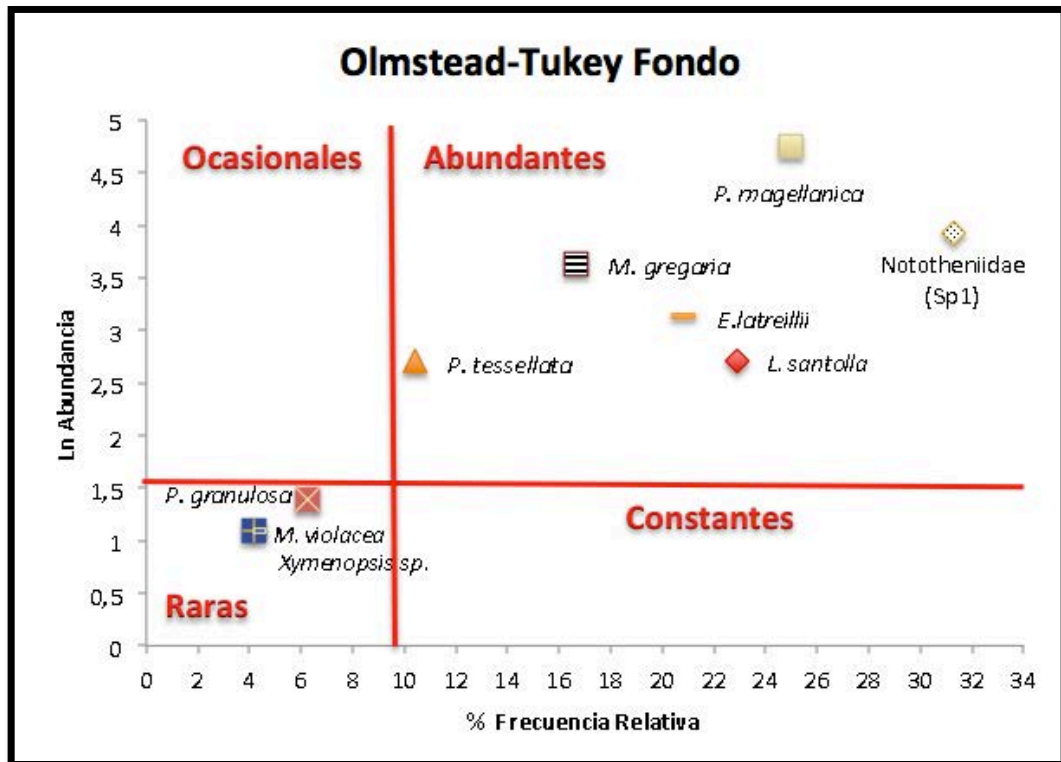
2013			Asteroidea		Aves	Bivalvia	Gastropoda			Malacostraca				Mammalia	Polychaeta	Tentaculata	Actinopterygii			
			<i>A. antarctica</i>	<i>C. lurida</i>	<i>Phalacrocorax sp.</i>	<i>G. trapesina</i>	<i>M. violacea</i>	<i>Nacella sp.</i>	<i>Xymenopsis sp.</i>	<i>E. latreillii</i>	<i>L. santolla</i>	<i>M. gregaria</i>	<i>P. comptus</i>	<i>P. granulosa</i>	<i>P. spinosulum</i>	<i>A. australis</i>	Polychaeta	Tentaculata	<i>P. magellanica</i>	<i>P. tessellata</i>
Época	Lugar	Estrato																		
Verano	Conejo	Columna de Agua																4		1
		Fondo							5	2	2			1				13		
	DosLomos	Columna de Agua																3		4
		Fondo							2		3							18	3	12
	I. Bridges	Columna de Agua											1					7		1
		Fondo							2	1							2	8	1	
Otoño	Conejo	Columna de Agua				1		1												3
		Fondo						2		1								9		1
	DosLomos	Columna de Agua																		
		Fondo																3		
	I. Bridges	Columna de Agua																		
		Fondo							2	1										
Invierno	Conejo	Columna de Agua								1							2			
		Fondo							3	2			1			1				3
	DosLomos	Columna de Agua	1						1											2
		Fondo	1						1	1			1							
	I. Bridges	Columna de Agua							1						1			1		4
		Fondo																1		
Primavera	Conejo	Columna de Agua																		
		Fondo		1					2	1		1							1	2
	DosLomos	Columna de Agua									1							1		1
		Fondo									1							2		2
	I. Bridges	Columna de Agua															1			2
		Fondo								1								8		1

Tabla 4.4 Abundancia de la macrofauna asociada a los bosques de *M. pyrifera* del Canal Beagle durante el año 2014

2014			Asteroidea		Aves	Bivalvia	Gastropoda			Malacostraca						Mammalia	Polychaeta	Tentaculata	Actinopterygii		
			<i>A. antarctica</i>	<i>C. lurida</i>	<i>Phalacrocorax sp.</i>	<i>G. trapesina</i>	<i>M. violacea</i>	<i>Nacella sp.</i>	<i>Xymenopsis sp.</i>	<i>E. latreilli</i>	<i>L. santalla</i>	<i>M. gregaria</i>	<i>P. comptus</i>	<i>P. granulosa</i>	<i>P. spinosulum</i>	<i>A. australis</i>	Polychaeta	Tentaculata	<i>P. magellanica</i>	<i>P. tessellata</i>	<i>Nototheriidae</i>
Época	Lugar	Estrato																			
Verano	Conejo	Columna de Agua									1								10		2
		Fondo									2	7							12		9
	DosLomos	Columna de Agua																1			1
		Fondo					1			3	1	15							33		6
	Ibridge	Columna de Agua																1	4		8
Otoño	Conejo	Columna de Agua																			
		Fondo										1									1
	DosLomos	Columna de Agua								1									1	2	
		Fondo			1		2		1	2				2							2
	Ibridge	Columna de Agua								1											
Invierno	Conejo	Columna de Agua																			
		Fondo																			
	DosLomos	Columna de Agua																			
		Fondo																			
	Ibridge	Columna de Agua																			1
Primavera	Conejo	Columna de Agua																1			2
		Fondo																1			5
	DosLomos	Columna de Agua																			
		Fondo							2										3		1
	Ibridge	Columna de Agua																			
		Fondo																	2		2

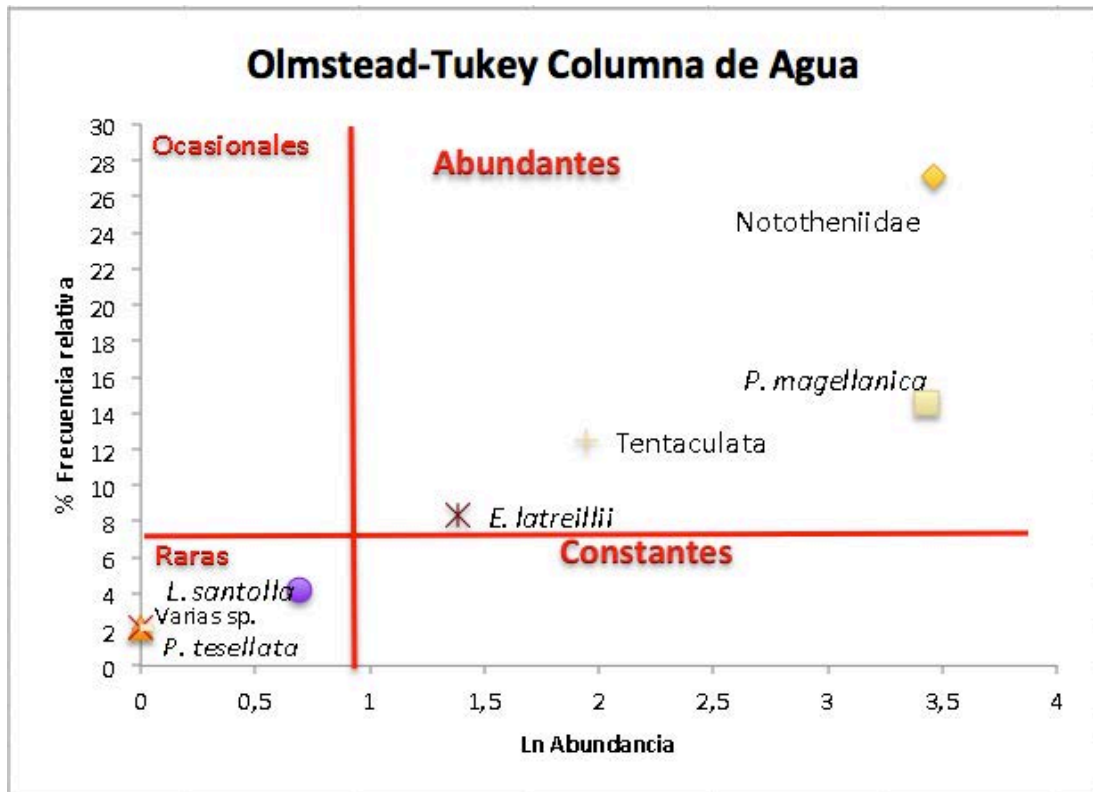
4.4.2.3 Jerarquización de los ensambles de macrofauna

La gráfica de Olmstead-Tukey del estrato fondo clasificó como abundantes a especies con gran movilidad y por ende mayor probabilidad de ser registrados por los videos, ej: los peces y los crustáceos, mientras que dentro de las especies raras se clasificaron los caracoles y en el límite entre las especies ocasionales y raras se clasificó el centollón *P. granulosa* (Gráfica 4.2).



Gráfica 4.2 Diagrama de Olmstead-Tukey mostrando la jerarquización de las especies halladas en el estrato fondo del bosque de *M. pyrifera*

En el estrato columna de agua siguen siendo abundantes 3 de las 6 especies que recibían esta denominación en el gráfico de fondo. Sin embargo, la especie *P. tessellata* pasa a ser clasificada como rara, al igual que los crustáceos *M. gregaria* y *L. Santolla* (Gráfica 4.3). Entonces, si bien la relación entre movilidad y abundancia puede explicar parcialmente los resultados de estos gráficos es evidente que algunas especies están más asociadas a un estrato que a otro, siendo estas tres mencionadas más relacionadas con el fondo.



Gráfica 4.3 Diagrama de Olmstead-Tukey mostrando la jerarquización de las especies halladas en el estrato columna de agua del bosque de *M. pyrifera*. Varias sp. = *A. antarctica*; *G. trapesina*; *Nacella* sp; *M. gregaria*; *P. granulosa*; *A. australis*.

Mediante las filmaciones submarinas se registraron un un 69,2 % de las clases taxonómicas y 20 % de las especies que se registraron en el grampón. En el caso de ambas técnicas la clase mejor representada fue Malacostraca, aunque con los videos se hallaron 6 especies mientras que con los muestreos de los grampones se hallaron 32.

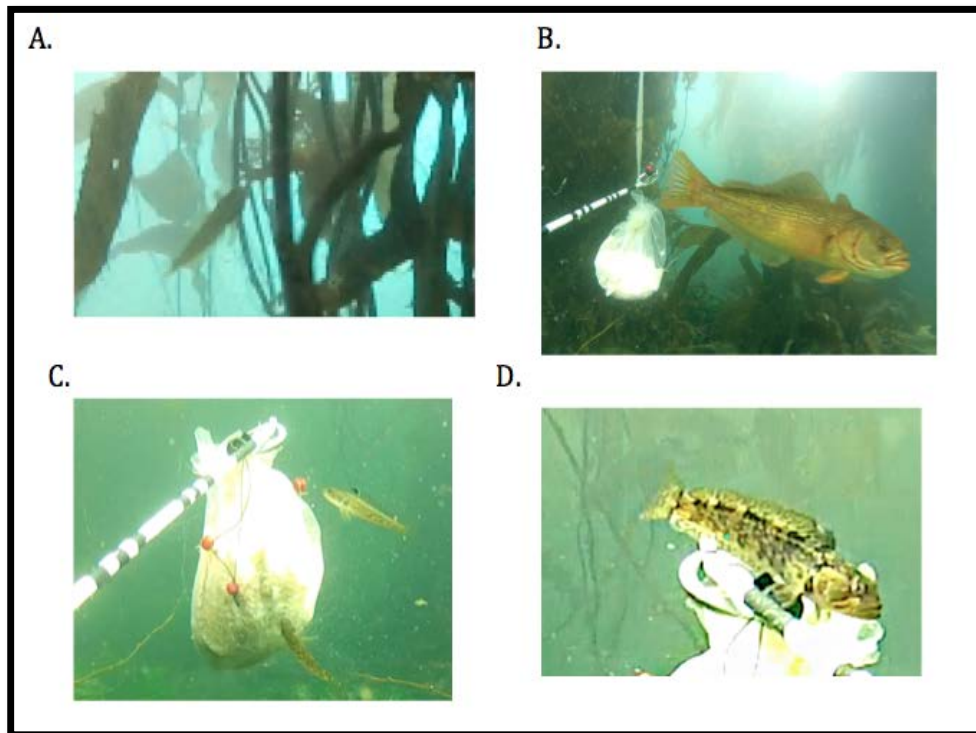
4.4.3 Caracterización de los ensambles ícticos asociados a *M. pyrifera* mediante video submarino

4.4.3.1 Composición específica y abundancia

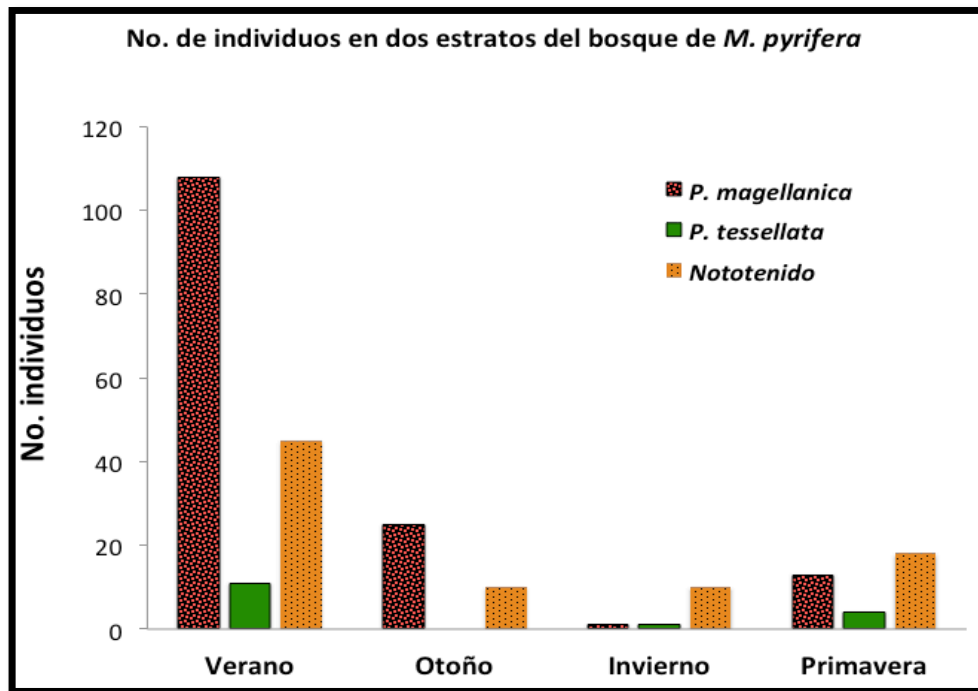
Las tres especies de peces identificadas fueron *P. magellanica*, *P. tesellata* y otros individuos de la familia Nototheniidae (Tabla 4.5, Fotografía 4.7).

Tabla 4.5 No total de individuos por especie y estrato registrados con los BRUVs

Especie	Fondo	C. de Agua	Total general
<i>Paranotothenia magellanica</i>	116	31	147
<i>Patagonotothen tessellata</i>	15	1	16
Nototheniidae	51	32	83
Total general	182	64	246

Fotografía 4.7 Especies de peces hallados con los BRUVs. A: No identificado. B= *P. magellanica*, C= *P. tessellata*, D= detalle de *P. tessellata*

Durante el verano se presentó la mayor abundancia de peces y durante el invierno la mínima. *P. magellanica* fue la especie más abundante durante el verano y el otoño mientras que *P. tessellata* lo fue durante el invierno y la primavera (Gráfica 4.4).



Gráfica 4.4 Número de individuos por taxon en las diferentes épocas hallados con los BRUVs

Al comparar el uso de trasmallos con el uso de videos submarinos con carnada, se observó que los trasmallos resultaron más efectivos al capturar un mayor número de especies de peces. Con los trasmallos fue posible identificar además más del doble de especies (7) que con los videos (3), no siendo posible identificar: *Cottoperca trigloides*, *Eleginops maclovinus*, *Patagonotothen sima*, *P. wiltoni* y *Austrolychus depressiceps*. Sin embargo, teniendo en cuenta que un gran número de individuos de la familia Nototheniidae (83) no pudieron ser identificados a nivel de especie debido a la baja calidad de las imágenes, no es posible afirmar que las especies *P. sima* y *P. wiltoni* que se registraron con los trasmallos, u otros *Patagonotothen*, no fueron atraídas por la carnada.

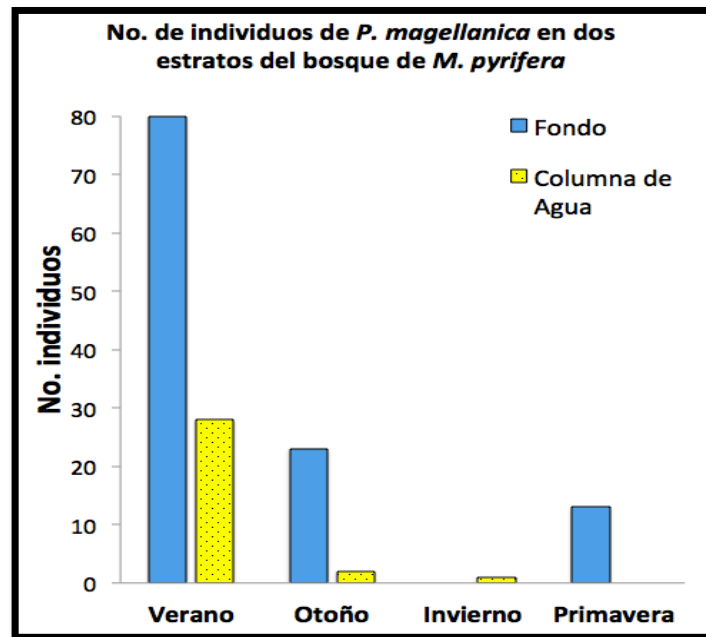
En una revisión realizada por Whitmarsh et al. (2016) se reportó que de todos los trabajos publicados relacionados a BRUVS solamente el 10 % pudo identificar todos los taxa a nivel de especie. En nuestro trabajo, para el grupo específico de los peces se logró identificar el 66,26 % de los individuos observados a nivel de especie. En términos generales la escasa visibilidad afecta la identificación de los individuos y generalmente las especies que no pueden ser identificadas a nivel de especie son pequeñas, crípticas o raras. En nuestro estudio las principales causas que explican la

no identificación fueron la lejanía de los individuos, la escasa visibilidad en algunos de los vídeos y la similitud morfológica entre algunas de las especies (por ejemplo, las tres especies del género *Patagonotothen*).

Se debe tener en cuenta que la capacidad de los BRUVS para registrar los peces está influenciada por la capacidad de la carnada para atraer a diversas especies (Dorman et al., 2012). La abundancia de peces y el número de especies atraídas por la carnada depende en gran parte de un amplio rango de características de los peces. Estas características están relacionadas a la respuesta a un estímulo; por ejemplo: las habilidades quimiosensoriales, la motivación por el alimento, el patrón de búsqueda de alimento y el tiempo de respuesta individual (Harvey et al., 2007; Alos et al., 2009; (Bailey & Priede, 2002). Además, aunque se utilice una carnada que sea atrayente para varias especies puede suceder que algunas especies respondan más lentamente a la carnada cuando están solas que cuando están en grupo como lo reportó (Stoner & Ottmar, 2004).

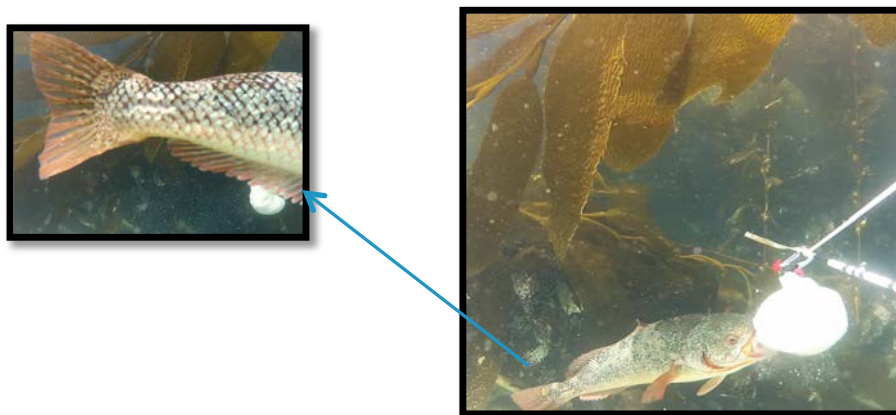
4.4.3.2 *P. magellanica*

El patrón de variación de la abundancia en el estrato fondo coincide con el obtenido mediante los trasmallos, en el sentido que los valores más altos de abundancia para *P. magellanica* se hallaron durante el verano, seguido del otoño, la primavera y finalmente el invierno (Gráfica 4.5).



Gráfica 4.5 Abundancia de *P. magellanica* registrada con los videos submarinos en dos estratos del bosque de *M. pyrifera*

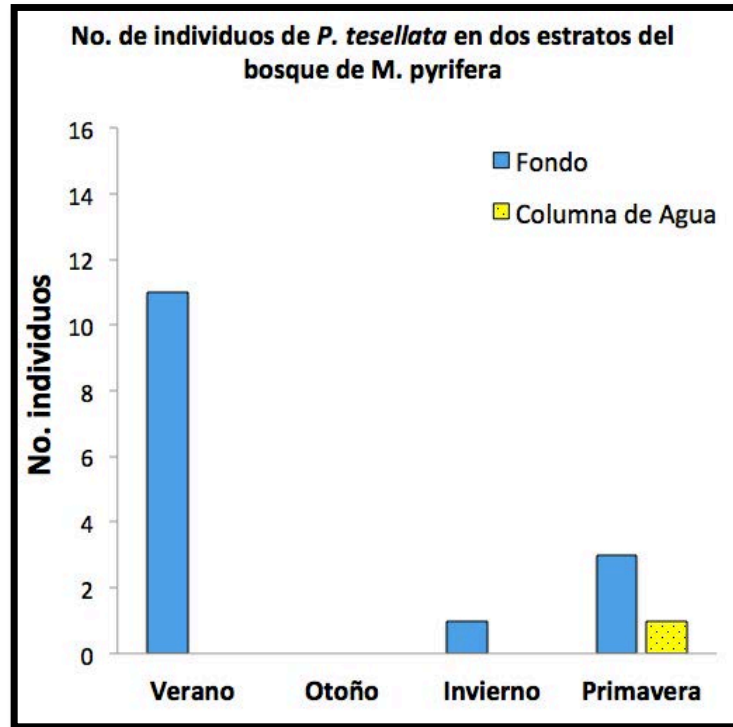
El hecho de que esta especie no se hallara durante el invierno coincide con la migración reproductiva propuesta por Rae (1991) y también observada en este trabajo con los transmallos (capítulo III). Según los datos obtenidos en los videos durante el otoño se observó una coloración más rojiza en algunos de los ejemplares de tallas próximas a los 25 cm (talla de madurez sexual). Este cambio en la coloración fue explicado por Rae (1991) como parte de la caracterización de los individuos sexualmente maduros (Fotografía 4.8).



Fotografía 4.8 *Paranotothenia magellanica* con coloración rojiza

En el estrato columna de agua no se puede hablar de un patrón en el caso de los videos porque prácticamente no se registraron individuos en 3 de las 4 estaciones.

4.4.3.3 *P. tesellata*

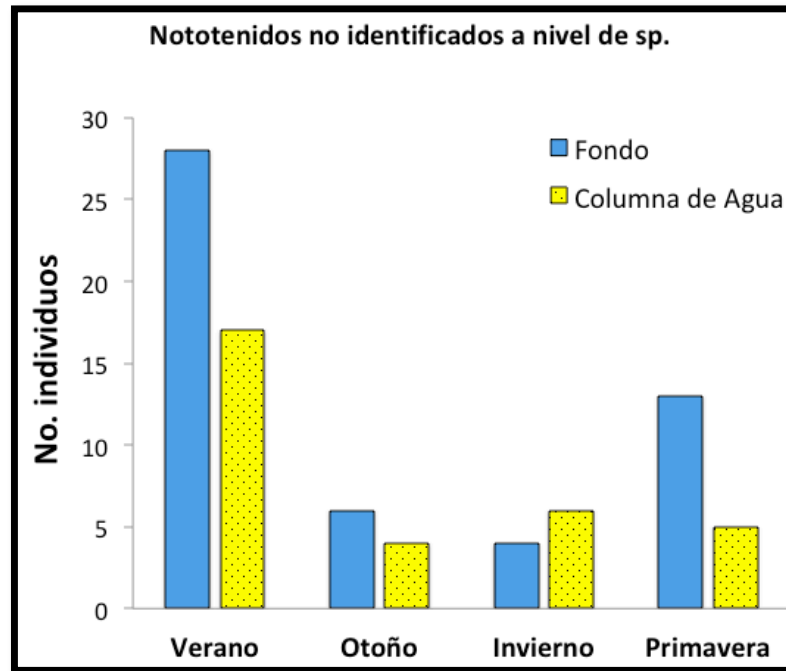


Gráfica 4.6 Abundancia de *Patagonotothen tesellata* registrada con los videos submarinos en dos estratos del bosque de *M. pyrifera*

En este estudio sólo se pudieron identificar 16 individuos de *P. tesellata* (Gráfica 4.6). Los individuos identificados pertenecieron a tallas entre 3 y 11 cm de Lt, es decir a individuos inmaduros (según Rae, 1991, 12 cm es la talla de madurez sexual para *P. tesellata*), mientras que las tallas de los peces obtenidos con los trasmallos fueron entre 13 y 25 cm de Lt (capítulo III). Estos resultados reflejan la especificidad de las dos técnicas utilizadas y plantean la posibilidad de complementar estos dos métodos para estudiar los ensambles de peces de un ecosistema estructuralmente complejo como los bosques de kelp.

4.4.3.4 *Nototenidos no identificados a nivel de especie*

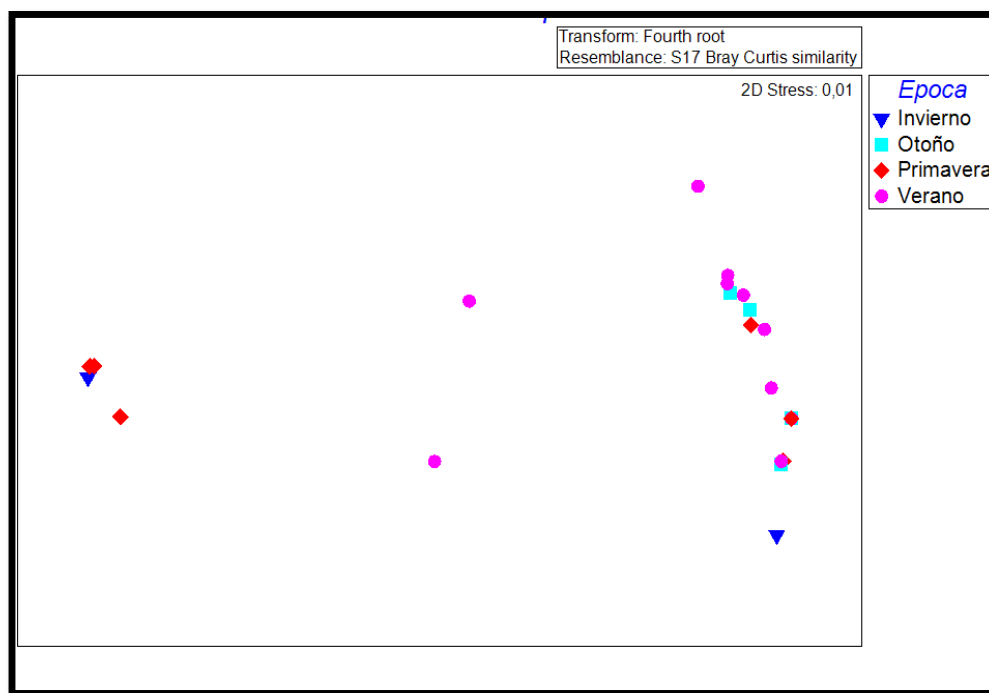
En cuanto a los nototénidos que no fueron posibles de identificar, la abundancia mayor se registró durante el verano y en el fondo. (Gráfica 4.7).



Gráfica 4.7 Abundancia de Nototénidos no identificados registrada con los videos submarinos en dos estratos del bosque de *M. pyrifera*

4.4.4 Análisis de escalamiento multidimensional (MDS)

La Gráfica 4.8 muestra el MDS (ver capítulo I para más detalles de este análisis) que agrupa las 48 campañas de muestreo según los factores: época, lugar, estrato y año.



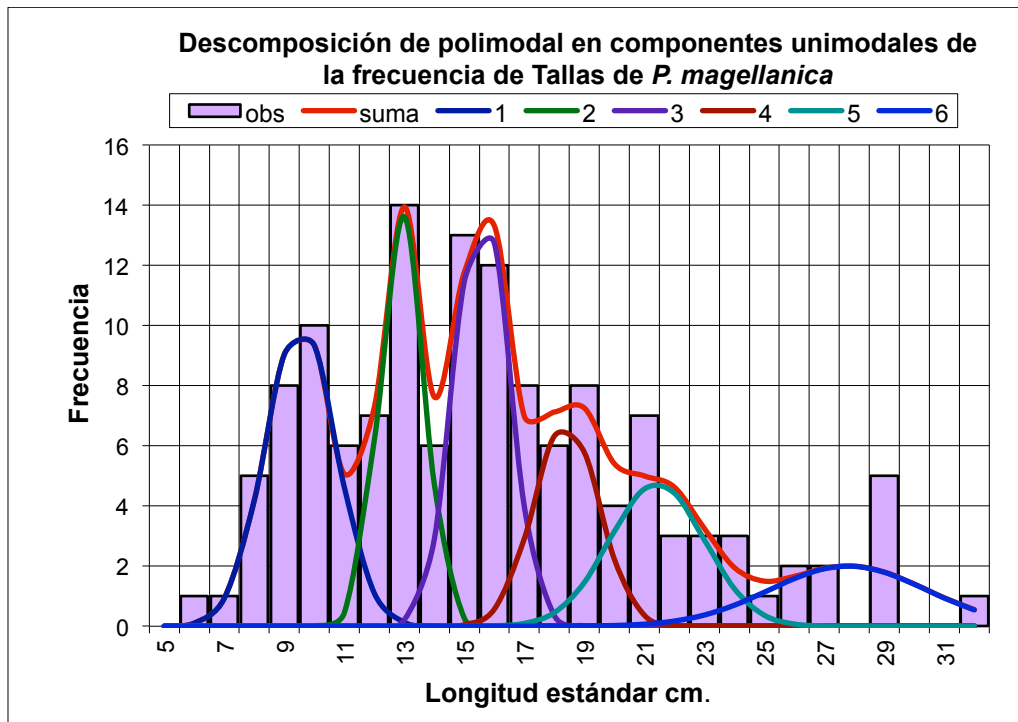
Gráfica 4.8 MDS de las 48 campañas de muestreo según los factores: época, lugar, estrato y año

A fin de saber si existen diferencias estadísticamente significativas entre las muestras se realizó un PERMANOVA con los 4 factores mencionados. El único factor que presentó una diferencia estadísticamente significativa fue época ($P= 0,037$). Es decir que, según lo observado en los videos submarinos, los ensambles de peces no difieren ni en estrato ni en lugar ni en año, pero si en época del año (estacionalidad). Con el objetivo de conocer en que estaciones del año difieren los ensambles de peces se realizó un *Pairwise Test* que arrojó como resultado que las dos épocas disímiles, son la primavera y el verano ($P= 0,002$).

4.4.5 Distribución de frecuencias de talla de *P. magellanica*

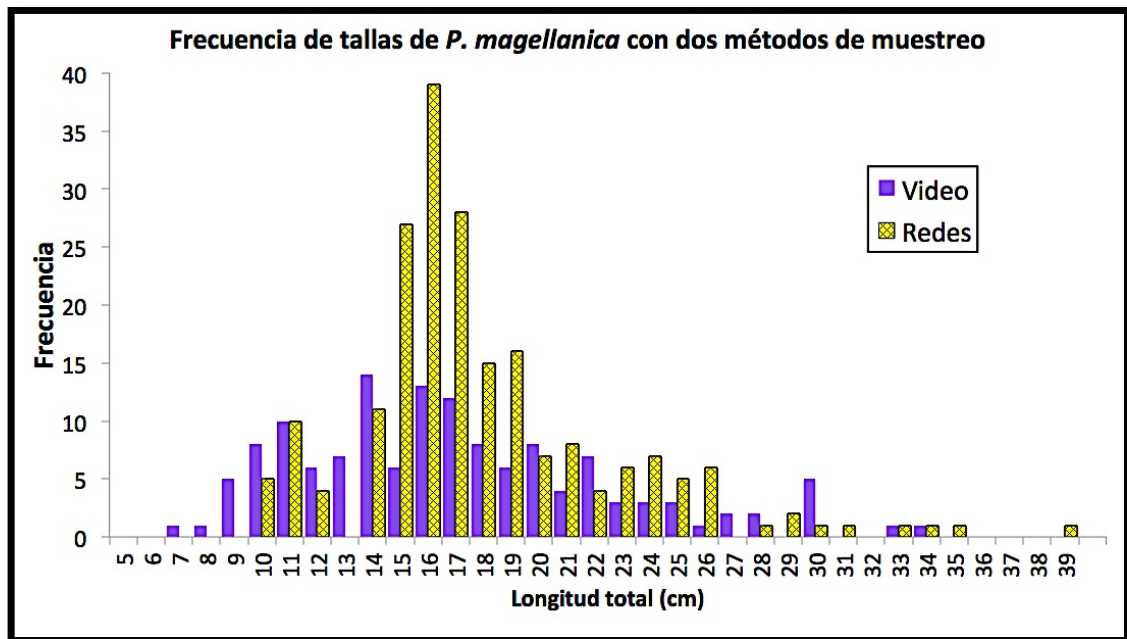
Se estudió la frecuencia de tallas de la especie más abundante: el nototénido *P. magellanica*. La talla no pudo ser medida en 10 de los 116 individuos del estrato fondo porque la imagen fue capturada por una sola de las cámaras, no permitiendo generar la imagen 3D necesaria para las mediciones. La descomposición polimodal de la frecuencia de tallas (Lt) de *P. magellanica* arrojó como resultado 6 modas: 9,54; 12,93; 15,58; 18,40; 21,42 y 27,79 ($n=137$; $R^2= 0,93$) (Gráfica 4.9). Los valores son similares a

algunos de los valores de las siete clases de edades definidas por Rae (1991): 11,7-**12,6**; **15,3**-19,8; 20,5-25,8; 26,2-**27**; 29-31,5; 32-34,8 y 35-38,5 cm., pero aparecen individuos de tallas menores y faltan las dos clases de tallas mayores.



Gráfica 4.9 Descomposición polimodal de la frecuencias de talla (Lt) de *P. magellanica* en los bosques de *M. pyrifera*

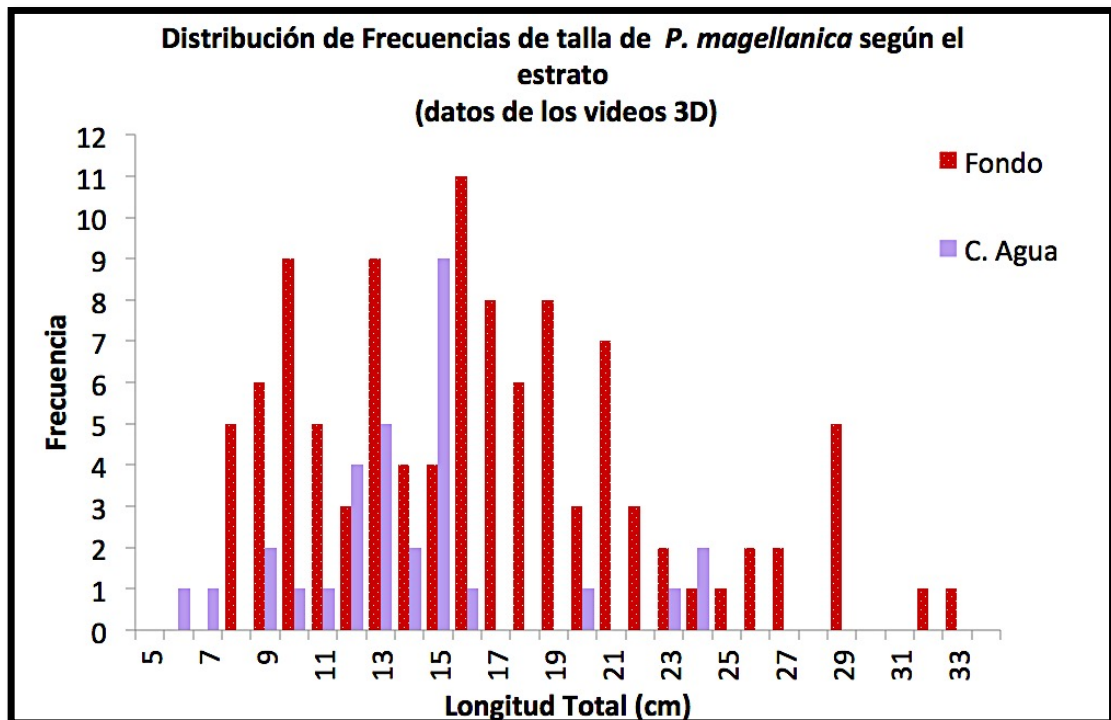
Con los videos submarinos se encontraron entonces peces de menor longitud, 6 cm Lt. y hasta 33 cm Lt. En cambio, las tallas halladas mediante los trasmallos, metodología semejante a la utilizada por Rae (1991), fluctuaron entre los 10 y los 35 cm Lt. con un registro excepcional de 39 cm Lt. (Gráfica 4.10), valor muy cercano a los 40 cm de longitud máxima teórica reportada por Rae (1991). Esta diferencia en la talla de los peces puede explicarse porque los trasmallos no pueden retener con eficacia individuos de tallas pequeñas. De hecho, esto se comprobó al analizar unos videos de los trasmallos que casualmente fueron grabados para otro proyecto (Secretos del Beagle: Canal Encuentro). En estos videos se observa como peces de menor tamaño atraviesan el trasmallo sin quedar atrapados en él. El test de Kolmogorov-Smirnov no dio diferencias significativas entre ambas distribuciones ($D=0.17143$; $p=0.64028$)



Gráfica 4.10 Distribución de frecuencias de talla Lt. de *P. magellanica* en los bosques de *M. pyrifera* mediante dos métodos de muestreo: video submarino y trasmallos.

4.4.5.1 Longitud total según estrato

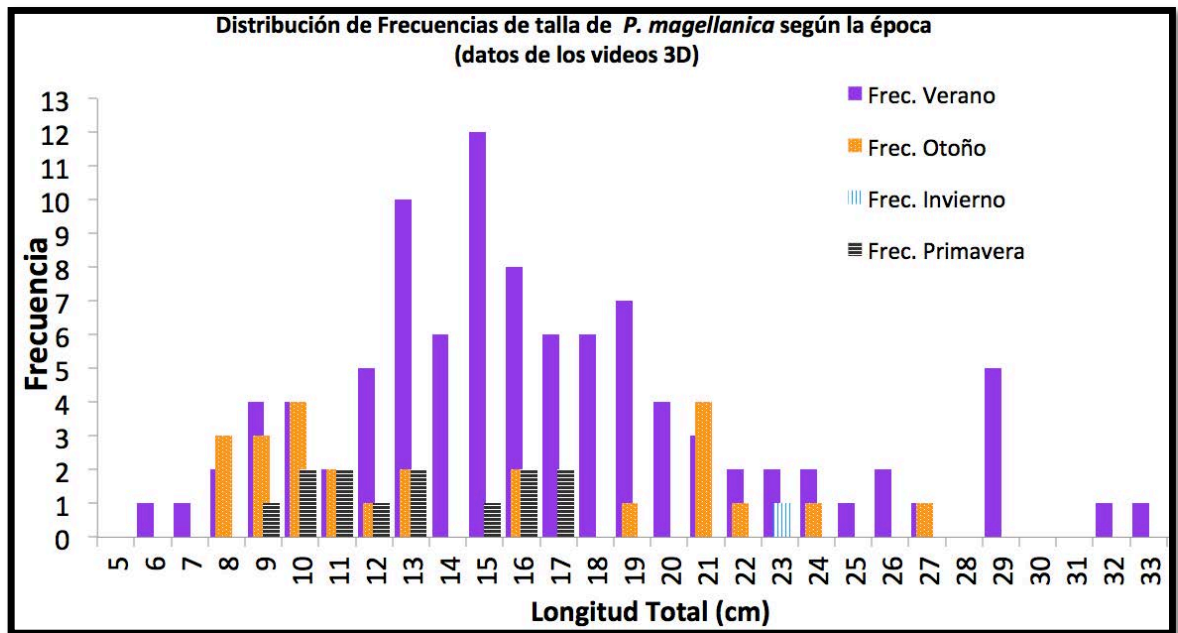
Al analizar la distribución de frecuencias de talla por estrato se puede observar que ambas distribuciones se superponen notoriamente a lo largo del rango de tallas observado y también que los individuos de mayor tamaño se registraron en el fondo (>25 cm Lt.) (Gráfica 4.11), mientras que los individuos de menor tamaño se observaron en la columna de agua (< 8 cm Lt.). Si bien se observan algunas diferencias generales, como que las frecuencias de los rangos de talla superiores a 16 cm Lt. son poco importantes en el caso de la columna de agua. Se realizó un test de Kolmogorov-Smirnov y no existen diferencias significativas en la distribución de tallas entre en el estrato fondo y el estrato columna de agua ($D=0.3$; $p = 0,10884$).



Gráfica 4.11 Distribución de frecuencias de talla de *P. magellanica* en los estratos fondo y columna de agua de los bosques de *M. pyrifera*

4.4.5.2 Longitud Total según la estación del año

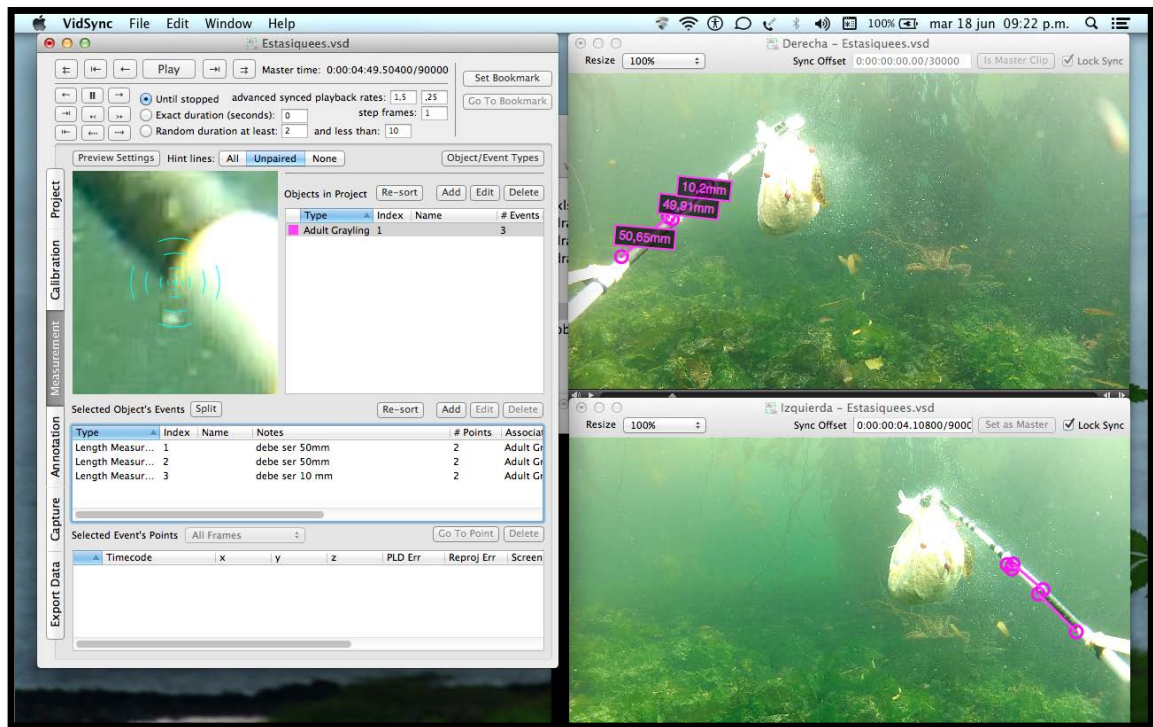
La distribución de frecuencia de tallas de *P. magellanica* varió según la estación del año. Durante el verano la LT aparecieron todas las tallas, entre 6 y 33 cm, con frecuencias mayores a los 13, 15, 19, y 29 cm Lt. En el otoño, las mayores frecuencias se observan a los 10 y 21 cm Lt.: En el invierno solamente se registró un individuo. Durante la primavera la distribución de frecuencias se observa homogénea y entre 9 y 17 cm Lt. (Gráfica 4.12).



Gráfica 4.12 Distribución de Frecuencias de talla de *P. magellanica* durante las estaciones anuales

4.4.6 Efectividad del sistema de videos submarino estereoscópico 3D como herramienta para el estudio del ensamble íctico en los bosques de *M. pyrifera*

La precisión de las mediciones de las tallas de los peces fue calculada mediante el software VidSync midiendo repetidamente la barra de calibración y dio $1,29 \pm 1,51$ mm (Fotografía 4.9). Esto refleja que los peces fueron medidos con una precisión mayor a los 2 mm.



Fotografía 4.9 Medición de la varilla de referencia en el software VidSync

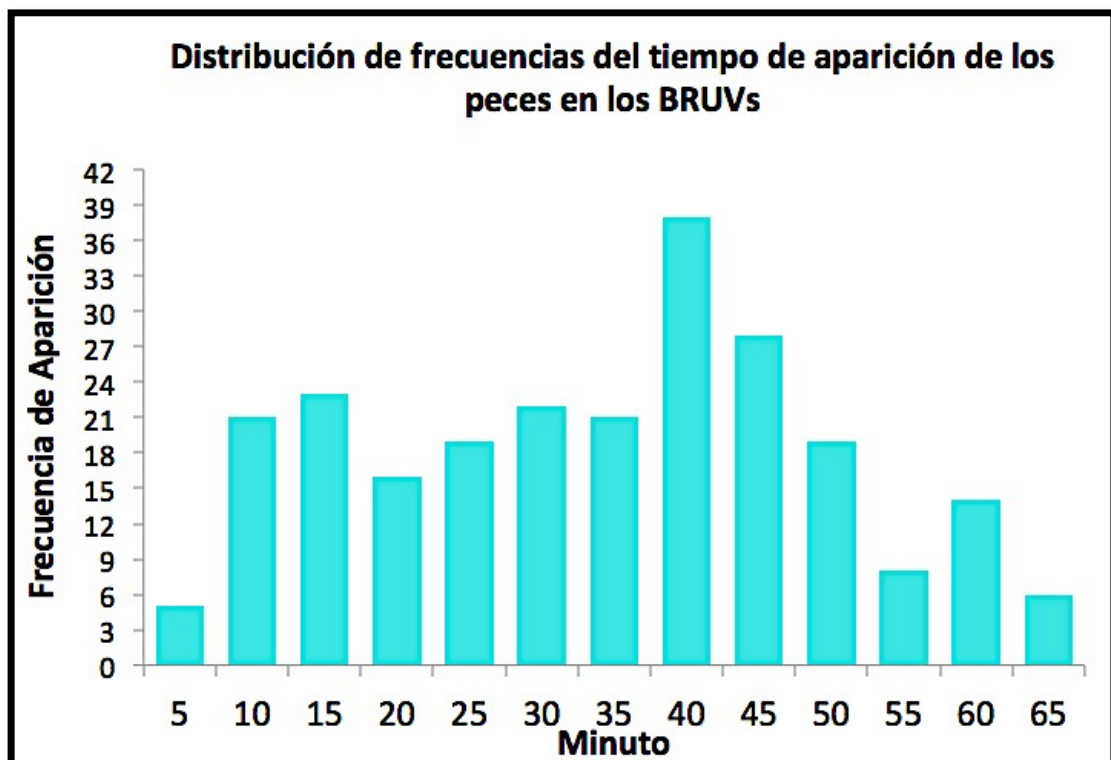
4.4.7 Tiempo de grabación

Es importante conocer el tiempo de grabación necesario para registrar el mayor número de especies e individuos posibles. Este tiempo va a estar influenciado por la carnada, por la velocidad de la corriente y también por las características propias de cada especie. Las mayores frecuencias de aparición de peces en la filmación se observaron en dos picos correspondientes a los 15 minutos y 40 minutos de filmación. Al comienzo de la filmación (aprox. 5 min) prácticamente no se registraron individuos (Gráfica 4.13).

Se observó que los peces se aproximaban al sistema de video submarino por diferentes razones: la búsqueda de la carnada (se acerca y come de la carnada), curiosidad (se acerca y se aleja rápidamente sin comer de la carnada), comportamiento social intraespecífico (se acerca en la presencia de otro individuo de la misma especie) y comportamiento predatorio (avanza rápidamente hacia otro individuo). Estas mismas razones han sido reportadas por trabajos anteriores como el de Dorman et al. (2012).

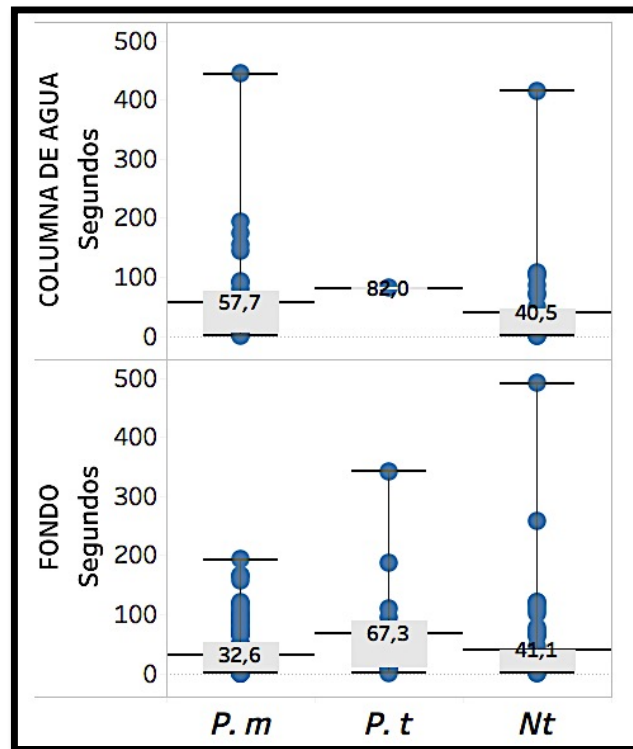
Algunos autores (Willis et al., 2000; Cappelletti, 2004) sugieren que un tiempo entre 25 y 30 minutos es suficiente para realizar estudios con estéreo-BRUVS. Estudios más recientes concluyen que el tiempo de filmación ideal está entre 60 y 90 minutos (Coghlan et al., 2017; Santana-Garcon, 2014; Harasti et al., 2015; Misa et al., 2016). Gladstone et al. (2012) sugiere que para ambientes pelágicos las filmaciones deben ser de 120 minutos. Coghlan et al., 2017 señaló que una hora de grabación es un tiempo óptimo a fin de registrar el pico máximo de la abundancia relativa independientemente de la influencia de las diferencias comportamentales de las especies. Es también sabido que la llegada de peces a los estéreo-BRUVS disminuye con la pérdida de la carnada por el paso del tiempo y las interacciones de los ejemplares previos.

Según los resultados obtenidos en este trabajo se sugiere un tiempo de grabación de 60 minutos, que empiecen a correr una vez que la turbidez ocasionada por la instalación del equipo de filmación haya disminuido notablemente.



Gráfica 4.13 Distribución de frecuencias del tiempo de aparición de los peces hallados en los BRUVS en el bosque de *M. pyrifera*

La mayoría de los peces que fueron filmados durante el estudio permanecieron en la filmación menos de 3 minutos, y sólo unos pocos individuos permanecieron varios minutos. En cuanto al tiempo de permanencia de las especies se observó que *P. tessellata* se quedaba más tiempo que *P. magellanica* y los nototénidos no identificados mostraron valores semejantes a esta última especie, aunque permaneciendo más tiempo en el fondo y menos en la columna de agua (Gráfica 4.14).



Gráfica 4.14 Tiempo de aparición en segundos de *Pm* = *P. magellanica*, *Pt* = *P. tessellata* y *Nt* = Nototénidos en los BRUVS, (promedio=valores numéricos).

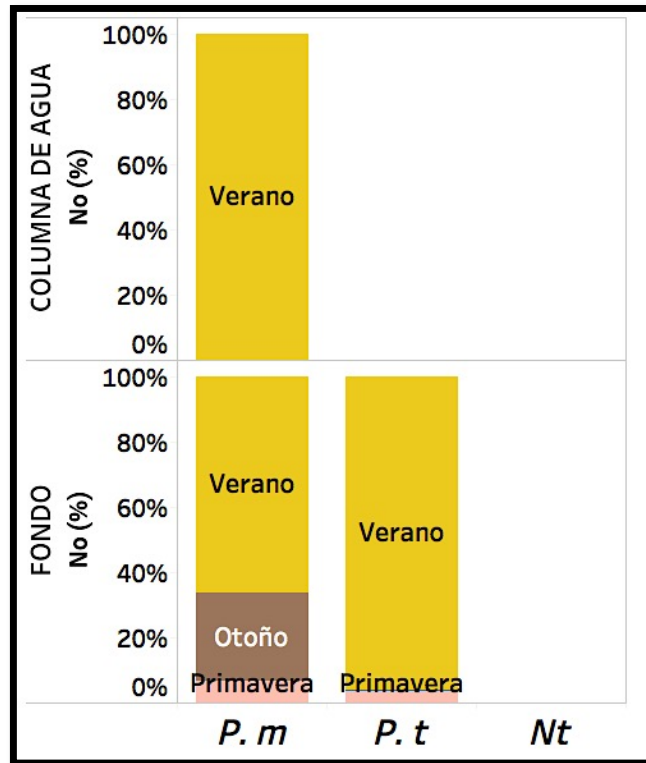
4.4.8 Comportamiento y uso de la carnada por parte de los peces

Uno de los temas principales a tener en cuenta en el uso de BRUVS es la carnada. El uso de carnada provee un mayor poder estadístico ya que incrementa el número de especies observadas, la abundancia de las mismas y la capacidad potencial de detectar cambios en diferentes tipos de hábitats (Harvey et al., 2007; Bernard & Götz, 2012; Dorman et al., 2012). Asimismo, atrae los peces cerca del sistema de filmación permitiendo medidas más precisas y una mejor identificación de los individuos (Hannah & Blume,

2014). Varios factores influyen en la respuesta de los peces a la carnada, incluyendo la actividad del pez, la motivación por el alimento y la habilidad para detectar, localizar y consumir la carnada (Stoner & Ottmar, 2004). Esto se evidencia en el trabajo de Newman (1990) en el que se hallaron diferencias significativas en la estructura y composición de los ensambles de peces evaluados mediante videos submarinos con carnada y sin carnada, ya que la respuesta a diferentes tipos de carnada fue especie específica.

Algunas especies son altamente territoriales y si un sistema de video es instalado en su *home range*, estas especies aparecerán en el campo de visión con encuentros antagónicos Cappelletti et al. (2006). Este comportamiento antagónico se observó en la especie *P. magellanica* puesto que en repetidas ocasiones fue grabada dirigiéndose directamente hacia las cámaras y golpeándolas, fue la única especie en la que se registró ese comportamiento. A diferencia de *P. magellanica*, *P. tessellata* se acercaba cautelosamente a la carnada, y siempre que *P. magellanica* apareció en escena *P. tessellata* abandonaba los intentos por alimentarse de la carnada.

La especie que más utilizó la carnada como fuente de alimentación fue *P. magellanica*, tanto en el estrato columna de agua como en el estrato fondo. *P. magellanica* se alimentó de la carnada solamente en el verano en la columna de agua, y en el fondo mayoritariamente en verano, pero también en otoño y en un porcentaje mínimo en primavera (Gráfica 4.15). En el caso de *P. tessellata* se alimentó solamente en el fondo casi exclusivamente en el verano. Los individuos no identificados a nivel de especie, fueron aquellos que no se registraron alimentándose de la carnada, y eso explica en gran medida la dificultad para identificarlos.

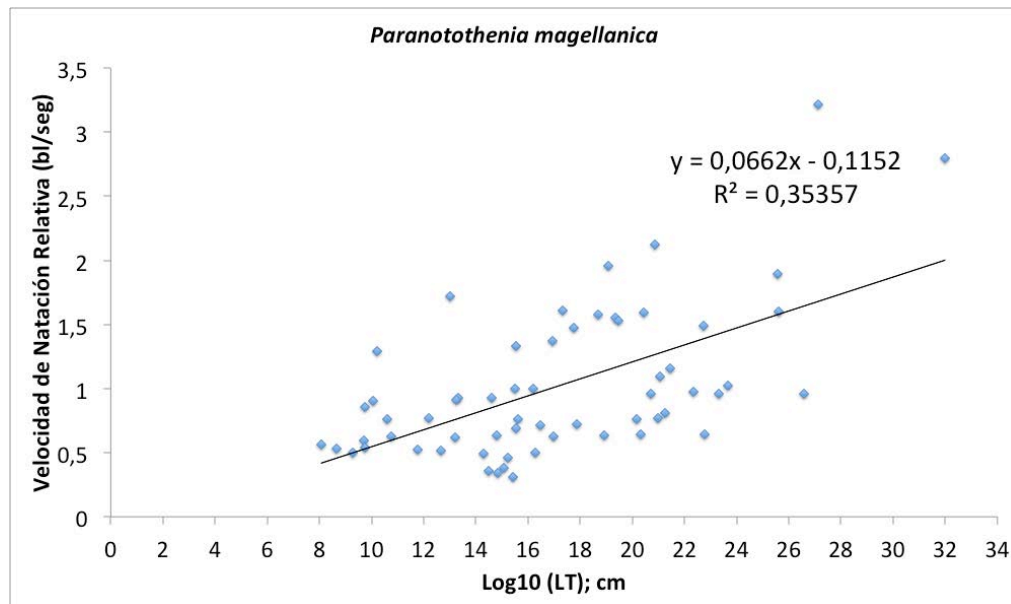


Gráfica 4.15 Porcentaje del número de veces que los peces *Pm* = *P. magellanica*, *Pt*= *P. tesellata* y *Nt*= Nototenidos se alimentaron de la carnada

Es notable también que el 80 % de las veces que se registró una interacción de carácter dominante (persecución o intento de mordida) fue iniciada por *P. magellanica* y el 100 % de las veces este tipo de interacciones se presentaron durante el verano.

4.4.9 Desplazamiento de los peces

Otra de las informaciones adicionales obtenida por los videos submarinos fue el desplazamiento en función de la longitud del cuerpo para *P. magellanica*, observando una correlación positiva entre la velocidad relativa y el tamaño de los peces, en un rango que va de 0,5 Lt/seg a 2 Lt/seg. (Gráfica 4.16).



Gráfica 4.16 Velocidad de nado en función de la longitud del cuerpo de *P. magellanica*. bl= body lenght o tamaño corporal.

4.5 CONCLUSIONES



La transparencia seguida de la temperatura fueron las variables más fuertemente correlacionadas con los ensambles de peces, sin embargo la correlación no fue estadísticamente significativa.



La mayor abundancia de peces se registró en el estrato fondo y durante el verano.




P. magellanica fue la especie más abundante, seguida de otros nototénidos no identificados a nivel de especie, y por último de *P. tesellata*.





Las tallas de *P. magellanica* en el bosque de kelp fluctuaron entre los 6 y los 33 cm Lt. Si bien, los individuos más pequeños se hallaron en la columna de agua y los más grandes en el fondo no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre los dos estratos.




Tanto *P. magellanica* como *P. tesellata* se alimentaron de la carnada principalmente durante el verano


 Para los ensambles de peces del Canal Beagle el sistema ensayado no fue tan efectivo como las redes debido al menor número de especies y de individuos registrados.

 Las mayores limitaciones del sistema fueron la calidad de la imagen (resolución, visibilidad, luminosidad), el número de cámaras tomando imágenes al mismo tiempo y la existencia de especies morfológicamente similares (por ejemplo, pertenecientes al género *Patagonotothen*)

 Los BRUVS son útiles como complemento de otros métodos tradicionales de estudio de la ictiofauna ya que registran el comportamiento (alimentación, desplazamiento, interacciones intra e interespecíficas, etc) mejorando el alcance del estudio y monitoreo de los ensambles de peces asociados a los bosques de Kelps.

4.6 RECOMENDACIONES

 Sería de gran utilidad que en futuros estudios se estandarice la distancia máxima a la cual se hacen los conteos y la identificación de las especies, con el objeto de determinar un área precisa de muestreo. Aunque el área de la filmación nítida podría variar según la visibilidad, tener una medida estandarizada del área en la cual se hacen los conteos de los peces sería de gran ayuda al momento de comparar ecosistemas o áreas estudiadas con esta técnica.

 Crear una plataforma web donde las imágenes y videos submarinos obtenidos para investigación puedan ser compartidos entre las diferentes investigadoras del país. Es importante que estos registros no se pierdan en el tiempo o queden almacenados en los institutos de investigación sin poder ser observados, puesto que tener un registro visual de los diferentes ecosistemas y fauna marina es de

gran utilidad y además las imágenes y videos contienen mucha información que puede ser de ayuda en otros proyectos con objetivos diferentes para los cuales fueron obtenidos.

5. CONCLUSIONES GENERALES

Se estudiaron los ensambles de peces asociados al estrato fondo y columna de agua de tres bosques de *M. pyrifera* en el Canal Beagle (Isla Dos Lomos, Isla Conejo e Isla Bridge) estacionalmente en función de variables ambientales.

Las variables ambientales tenidas en cuenta fueron: temperatura, salinidad y transparencia. Un análisis de componentes principales arrojó que el 74.6% de la variación fue explicado por el PC1, mayormente correlacionado con la temperatura. Mediante un PERMANOVA se comprobó que el factor época fue el único que presentó diferencias significativas (lugar y año no dieron significativo).

Los ensambles de peces se estudiaron mediante tres metodologías diferentes: extracción de grampón, calado de redes y videos submarinos con carnada, que permitieron analizar el estrato de fondo y la columna de agua.

Mediante la extracción del grampón se registraron 50 individuos pertenecientes a 4 especies de peces: *Patagonotothen cornucola*, *Maynea puncta*, *Careproctus palidus* y *Agonopsis chiloensis* en orden de abundancia. La estación que presentó mayor abundancia fue otoño (20) y la menor fue primavera (3). La Isla Bridges presentó la mayor abundancia (29) respecto a Conejo (16) y a Dos Lomos (5). En cuanto a la riqueza específica se registraron 3 especies en otoño y verano y sólo dos especies en invierno y primavera. En todas las estaciones estuvieron presentes *P. cornucola* y *Maynea puncta*, agregándose *Careproctus pallidus* en otoño y *Agonopsis chiloensis* en verano. En cuanto a la riqueza por islas, se observaron 3 especies en Isla Bridge y Conejo, y dos especies en Dos Lomos.

Mediante el uso de trasmallos se capturaron 748 individuos pertenecientes a 6 especies de nototénidos (*Cottoperca trigloides*, *Eleginops maclovinus*, *Paranotothenia magellanica*, *Patagonotothen sima*, *P. tessellata*, *P. wiltoni*) y un zoarcido (*Austrolycus depressiceps*), todas especies diferentes a las halladas dentro del grampón. Las dos especies más abundantes fueron *P. tessellata* (489) y *P. magellanica* (218). Una vez estandarizados los datos la estación que presentó mayor CPUE fue el

verano (415,8) y el menor CPUE fue primavera (50,2). La isla que presentó mayor CPUE fue I. Bridges (326,4), luego Conejo (247,2) y Dos Lomos (229,2). En cuanto a la riqueza específica se registró un máximo de 6 especies en otoño y un mínimo de 5 en invierno, primavera y verano. Algunas especies estuvieron presentes en todas las estaciones: *C. trigloides*, *P. magellanica*, *P. tessellata* y *P. wiltoni*, esto se ve bien reflejado en el gráfico de Olmstead-Tukey (Gráfica 34). En cuanto a la riqueza por islas se observaron 6 especies en la isla Dos Lomos, 4 en Isla Bridge y 3 en Conejo. Los índices de diversidad, riqueza y equitatividad calculados para comparar los dos estratos del bosque de *Macrocystis pyrifera* mostraron patrones diferentes en los 3 bosques estudiados por lo que no se pudo generalizar un patrón determinado.

Mediante el uso de videos con carnada se registraron 246 individuos pertenecientes a dos especies de peces y un grupo de individuos denominados genéricamente peces nototénidos. La estación del año con mayor abundancia fue el verano (35) y la de menor abundancia el invierno (12). La isla que presentó mayor abundancia fue Dos Lomos (99), Conejo (78) e Isla Bridge (69).

En el estrato fondo la abundancia y diversidad fue mayor que en la columna de agua mediante las diferentes metodologías utilizadas (redes y video). Las especies más importantes en ambos estratos fueron *P. magellanica* y *P. tessellata*. Ambas especies presentaron abundancias mayores en el fondo que en la superficie. *P. magellanica* fue la especie más abundante en la columna de agua tanto con redes como con videos. Esto concuerda con los resultados de Vanella et al. (2007) y con las diferencias de flotabilidad entre estas especies reportadas por Fernández et al. (2012). Mientras que, en el fondo *P. tessellata* fue la más abundante con las redes y *P. magellanica* fue la más abundante con los videos. Los resultados de las redes se oponen a lo hallado por Vanella et al. (2007), que concuerdan casi exactamente con la proporción observada en los videos.

En cuanto a los factores (época, lugar, año y estrato), los ensambles registrados con los videos resultaron ser diferentes sólo según la época, siendo la comparación primavera-verano la más disímil. Los ensambles estudiados con los trasmallos resultaron significativamente diferentes para

los factores estrato y lugar siendo la comparación Isla Bridges-Conejo la más disímil (PERMANOVA).

La población capturada de *P. magellanica* presentó una mayor proporción de hembras que de machos y un gran número de individuos con las gónadas no visibles o muy pequeñas, lo que dificultó la determinación sexual (68 hembras; 43 machos 95 sexo indeterminado). Además, la gran mayoría de la población no había llegado a la madurez sexual (la talla más frecuente para las hembras fue de 16 cm y para los machos de 24 cm de LT mientras que la talla de primera madurez es a los 25 cm de LT). Los máximos valores de IGS de hembras se presentaron durante el invierno, en concordancia con los resultados de Rae (1991). El índice Kn no presentó un patrón claro de variación estacional.

En el caso de *P. tessellata* la población también se caracterizó por una mayor proporción de hembras en relación a los machos (375 hembras; 92 machos). Los índices IGS e IHS concuerdan con las épocas reproductivas de esta especie (verano e invierno). Dado que los machos cuidan los huevos durante el desarrollo (que dura aproximadamente un mes, Fernández com. pers.) es de esperar que los mismos estén ausentes o en menor abundancia en el bosque de kelp durante estas estaciones del año. Los individuos capturados presentaron valores más frecuentes para las hembras de 17-18 cm y para los machos de 19-20 cm de LT, indicando que ya estaban maduros sexualmente (talla de primera madurez teórica: 12 cm LT). Prácticamente no se capturaron individuos inmaduros con este método. El índice de Kn presentó valores más altos en ambos estratos durante el verano.

Estudiar los ensambles de peces asociados a los bosques de *M. pyrifera* con diferentes metodologías (extracción de grampones, calado de redes y videos con carnadas), permitió una aproximación más completa de su estructura y variación espacio-temporal. La metodología de la extracción de grampones se complementó con las otras dos permitiendo registrar 4 especies diferentes. La metodología de video permitió registrar individuos de tallas menores (de 6 a 11 cm en el caso de *P. magellanica* y de 8 a 13 cm en el caso de *P. tessellata*). Los videos además permitieron observar diferentes comportamientos relacionados con las relaciones inter e intraespecíficas, la

alimentación, la movilidad así como al resto de la macrofauna que coexiste con los ensambles.









En cuanto a los experimentos de comportamiento, las tres especies estudiadas: *Patagonotothen cornucola*, *Maynea puncta* y *Harpagifer bispinis* mostraron que su elección de hábitat se ve influenciada por la densidad poblacional de su propia especie y por la presencia de otras especies. En el caso del experimento multiespecífico, donde las condiciones se asemejan más a lo que sucede en la naturaleza (presencia de otros individuos de su misma y de otras especies), *P. cornucola* elige el grampón, *H. bispinis* elige las rocas y *M. puncta* el grampón y las rocas. Estos resultados concuerdan con las abundancias hallada para estas especies en dichos hábitats.











La transparencia fue la variable ambiental más correlacionada con los ensambles de peces en el caso de los videos y el conjunto de variables temperatura-salinidad en el caso de los transmallos (BEST-BIOEM). Sin embargo, en ninguno de los casos la correlación resultó estadísticamente significativa (BEST *match permutation*).










El estudio de la macrofauna del grampón dio como resultado 95 taxones. Con los videos se registraron un total de 19 taxones, siete de los cuales no se habían registrado en el grampón. Según ambos métodos de muestreo los taxones mejor representados en número de especies fueron: Malacostraca y Gastrópoda. En la macrofauna del grampón no se hallaron diferencias estacionales pero sí entre sitios (las diferentes islas). Se observó que el estadístico R (que indica la diferencia entre grupos) es directamente proporcional a la distancia entre las islas (NESTED-ANOSIM) y entonces Conejo vs I. Bridge > Dos Lomos vs Conejo > Dos Lomos vs I. Bridge.

La transparencia fue la variable ambiental más correlacionada con la comunidad del grampón (BEST-BIOEM). Sin embargo, la correlación no resultó estadísticamente significativa (BEST *match permutation*).










6. BIBLIOGRAFÍA










-  Adami, M.L. & Gordillo, S., 1999. Structure and dynamics of the biota associated with *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta) from the Beagle Channel, Tierra del Fuego. *Scientia Marina*, 63, pp.183-91.
-  Albert, O., Harbitz, A. & Hoinés, A., 2003. Greenlan halibut observed by video in front of survey trawl: behaviour, escapement, and spatial pattern. *Journal of Sea Research*, 50, pp.117-27.
-  Aldea, Cristian, 2012. *Guia representativa de la biodiversidad de los fondos marinos de Magallanes*. Punta Arenas: Fundación CEQUA.
-  Alos, J., Arlinghaus, R., Palmer, M., March, D., & Álvarez, I. (2009). The influence of type of natural bait on fish catches and hooking location in a mixed-species marine recreational fishery, with implications for management. *Fisheries Research*, 97, pp.270-77.
-  Anderson, M.E. & Gosztonyi, A.E., 1991. Stidies on the Zoarcidae (Teleostei:Perciformes) of the Southren Hemisphere: New records and a new species from the Magellan Province of South America. *Bulletin. J.L.B. Smith Institute of Ichthyology Grahamstown*, South Africa.
-  Anderson, M.J., Diebel, C.E., Blom, W.M. & Landers, T.J., 2005. Spatial patterns of biodiversity for the major phyla at different taxonomic resolutions. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 320, pp.35-56.
-  Anderson, M.J., Gorley, R.N. & Clarke, K.R., 2008. *PERMANOVA + for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods*. First edition ed. Plymouth: PRIMER-E Ltd.
-  Anderson, T.W., 1994. Role of macroalgal structure in the distribution and abundance of a temperate reef fish. *Marine Ecology Progress Series*, 113, pp.279-90.










-  Angel, A. & Ojeda, F.P., 2001. Structure and trophic organization of subtidal fish assemblages on the northern Chilean coast: the effect of habitat complexity. *Marine Ecology Progress Series*, 217, pp.81-91.
-  Archdale, M., Anasco, C. & Tahara, Y., 2008. Catches of swimming crabs using fish mince in "teabags" compared to conventional fish baits in collapsible pots. *Fisheries Research*, (91), pp.291-98.
-  Atienza, J.C., 1994. La utilización de índices en el estudio de la selección de recursos. *Ardeola*, 41(2), pp.173-75.
-  Bailey, D.M. & Priede, I.G., 2002. Predicting fish behaviour in response to abyssal food falls. *Marine Biology*, 141, pp.831-40.
-  Balboni, L., Colautti, D.C. & Baigún, C.R.M., 2011. Biology of growth of *Hoplias aff. malabaricus* (Bloch, 1794) in a shallow pampean lake (Argentina). *Neotropical Ichthyology*. 9(2), pp.437-44.
-  Bernard, A. & Götz, A., 2012. Bait increases the precision in count data from remote underwater video for most subtidal reef fish in the warm-temperate Agulhas bioregion. *Marine Ecology Progress Series*, 471, pp.235-52.
-  Bernasconi, I. & D'Agostino, M.M., 1977. Ofiuroideos del mar epicontinental argentino. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia*, 5, pp.66-114.
-  Borla, M.L. & Vereda, M., 2001. *Explorando Tierra del Fuego*. Spanish Edition ed. Buenos Aires: Zagier & Urruty Pubns.
-  Brodeur, J.C., J, C. & Johnston, I.A., 2003. Proliferation of myogenic progenitor cells following feeding the sub-antarctic notothenioid fish *Harpagifer bispinis*. *Journal of Experimental Biology*, 206(1), pp.163-69.
-  Bujalesky, G., Aliotta, S. & Isla, F.I., 2004. Facies del subfondo del canal Beagle, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 59(1), p.ene./mar.

-  Cappelletti, M., Harvey, E. & Shortis, M., 2006. Counting and measuring fish with baited video techniques, an overview. *Australian Society for Fish Biology Workshop Proceedings*, 1, pp.101-14.
-  Cappelletti, M., Speare, P., & De'ath, G. 2004. Comparison of baited remote underwater video stations (BRUVS) and prawn (shrimp) trawls for assessment of fish biodiversity in interreefal areas of the Great Barrier Reef Marine Park. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (350), pp.209-21.
-  Carabines, G. & Cole, R., 2009. Using a remote drift underwater video (DUV) to examine dredge impacts on demersal fishes and benthic habitat complexity in Foveaux Strait, Southern New Zealand. *Fisheries Research*, 96, pp.230-37.
-  Cariceo, Y., Mutschke, E. & Ríos, C., 2002. Ensamblajes de Isopoda (Crustacea) en discos de fijación del alga *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Agardh (Phaeophyta) en el estrecho de Magallanes, Chile. *Anales Instituto Patagonia Serie Ciencias Naturales (Chile)*, 30, pp.83-94.
-  Carr, M.H., 1991. Habitat selection and recruitment of an assemblage of temperate zone reef fishes. *Journal of Experimental Biology and Ecology*, 146, pp.113-37.
-  Carr, M.H., 1994. Effects of macroalgal dynamics on recruitment of a temperate reef fish. *Ecology*, 75(5), pp.1320-33.
-  Castilla, C., 1985. Food webs and functional aspects of the kelp, *Macrocystis pyrifera* community in the Beagle Channel, Chile. *Antartic Nutrients Cycles and Food Webs*, pp.408-14.
-  Choat, J.H. & Ayling, A.M., 1987. The relationship between habitat structure and fish faunas on New Zealand reef. *Journal of Experimental Biology and Ecology*, 110, pp.257-84.
-  Christie, H., Jorgensen, N.M. & Norderhaug, K.M., 2007. Bushy or smooth, high or low; importance of habitat architecture and vertical









position for distribution of fauna on kelp. *Journal of Sea Research*, 58, pp.198-208.









-  Christie, H., Jorgensen, N.M., Norderhaug, K.M. & Waage-Nielsen, E., 2003. Species distribution and habitat exploitation of fauna associated with kelp (*Laminaria hyperborea*) along the Norwegian coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83(04), pp.687-99.
-  Clarke, K.R., 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*, 18, pp.117-43.
-  Clarke, K.R. & Gorley, R.N., 2006. *Primer v6: user Manual/Tutorial*. Plymouth: PRIMER-E Ltd.
-  Clarke, K.R. & Warwick, R.M., 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2 edition. *Natural Environment Research Council*, p.172.
-  Coghlan, A.R., McLean, D.L., Harvey, E.S. & Langlois, T.J., 2017. Does fish behaviour bias abundance and length information collected by baited underwater video? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (497), pp.143-51.
-  Colombo-Pallota, M.F., García-Mendoza, E. & Ladah, L.B., 2006. Photosynthetic performance, light absorption, and pigment composition of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales, Phaeophyceae) blades from different depths). *Journal of Phycology and international journal of algal research*, 42(6), pp.1225-34.
-  Daniels, R.A., 1978. Nesting behaviour of *Harpagifer bispinis* in Arthur Harbour, Antarctic Peninsula. *Journal of Fish Biology*, 12(5), pp.465-74.
-  Dayton, P., 1985. The structure and regulation of some South American Kelp communities. *Ecological Monographs*, 55(4), pp.447-68.
-  Diehl, S., 1992. Fish predation and benthic community structure: the role of omnivory and habitat complexity. *Ecology*, 73, pp.1646-61.

-  Dorman, S.r., Harvey, E.S. & Newman, S.J., 2012. Bait Effects in Sampling Coral Reef Fish Assemblages with Stereo-BRUVs. *PLoS ONE* 7, p.e41538.
-  Doti, B., 2014. Crustacea. In R.J. Sergio & L.C.y.J.J. Morrone, eds. *Biodiversidad de Artrópodos Argentinos*. Primera ed. Mendoza. pp.19-28.
-  Ebeling, A. & Hixon, M., 1991. Tropical and temperate reef fishes: comparison of community structure. In the Ecology of Fishes on Coral Reefs. pp.509-63.
-  Elías, I., 1981. Estudios sobre la población del isópodo Limnoria (Phycolimnoria) chilensis Menzies asociada al grampón de *Macrocystis pyrifera*. *Physis*, 40(98), pp.33-42.
-  Escalante, T., 2003. ¿Cuántas especies hay? Los estimadores no paramétricos de Chao. *Elementos : Ciencia y cultura*. , (052), pp.53-56.
-  Fernández, D. A., Lattuca, M. E., Boy, C. C., Pérez, A. F., Ceballos, S. G., Vanella, F. A., ... & Calvo, J. 2009. Energy density of sub-Antartic fishes from the Beagle Chanel. *Fish Physiology and Biochemistry*, 35(1), pp.181-88.
-  Fernández, D. A., Ceballos, S. G., Malanga, G., Boy, C. C., & Vanella, F. A. 2012. Buoyancy of sub-Antartic notothenioids including the sister lineage of all other notothenioids (Bovichtidae). *Polar Biology*, 35(1), pp.99-106.
-  Fernández, D. A., Bruno, D. O., & Llompart, F. M. 2018. Length-weight relationship of six notothenioid species from sub-Antartic waters (Beagle Channel, Argentina). *Journal of Applied Ichthyology*, pp. 1-3.
-  Ferrari, S., Alegre, B. & Gandini, P., 2004. Dieta del cormorán imperial (*Phalacrocorax atriceps*) en el sur de Santa Cruz (Patagonia Argentina). *Ornitología Neotropical*, 15, pp.103-10.









-  Fisheer, W. & Hureau, J., 1988. Fichas FAO de identificación de especies para los fines de la pesca. Océano Austral (áreas de pesca 48, 58 y 88, áreas de la Convención CCAMLR). FAO, Roma.
-  Fjosne, K. & Gjosaeter, J., 1996. Dietary composition and the potencial of food competition between cod (*Gadus morhua* L.) and some other fish species in the littoral zone. *Journal of Marine Science*, 53, pp.757-70.
-  Froese, R., 2006. Cube, law, condition factor and weight-length relationships: history, meta-analysis and recommendations. *Journal of Applied Ichthyology*, 22(4), pp.241-53.
-  Fuhlendorf, S. D., Harrell, W. C., Engle, D. M., Hamilton, R. G., Davis, C. A., & Leslie Jr, D. M. 2006. Should heterogeneity be the basis for conservation? grassland bird response to fire and grazing. *Ecological Applications*, 16, pp.1706-16.
-  Galván, D. & Venerus, L., 2009. The reef-fish fauna of the northern Patagonian Gulf, Argentina, south-western Atlantic. *The Open Fish Science*, 2, pp.90-98.
-  Galván, D.E., 2008. *Ensamblajes de peces en los arrecifes norpatagónicos: diversidad, abundancia y relaciones tróficas y con el hábitat*. Tesis. Bariloche: Centro Nacional Patagónico-CONICET Universidad Nacional del Comahue.
-  Gandini, P.A., Pon, J.S. & Frere, E., 2008. Composición de la dieta de la gaviota austral (*Larus scoresbii*) en Patagonia, Argentina. *Ornitología Neotropical*, 19, pp.109-15.
-  Gardner, J. & Struthers, C., 2013. Comparisons among survey methodologies to test for abundance and size of a highly targeted fish species. *Journal of fish biology*, 82(1), pp.242-62.
-  Gladstone, W., Lindfield, S., Coleman, M. & Kelaher, B., 2012. Optimisation of baited remote underwater video sampling designs for









estuarine fish assemblages. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (429), pp.28-35.










-  Gon, O. & Heemstra, P.C., 1990. *Fishes of the southern ocean*. Grahamstown: J.L.B. Smith Institute of Ichthyology.
-  Gordillo, S., 1991. Paleoecología de moluscos marinos del Holoceno medio de Isla Gable Beagle, Tierra del Fuego, Argentina. *Revista de la Asociación Paleontológica Argentina*, 28(1-2), pp.127-33.
-  Gordillo, S., 1995. *Moluscos australes. Introducción al conocimiento de los bivalvos y caracoles de las costas del Canal Beagle, Tierra del Fuego*. Buenos Aires: Saiger & Urruty Publications.
-  Gosztonyi, A.E., 1977. Results of the research cruises of FRV 'Walther Herwig' to South America. XLVLLL. REvision of the South American Zoarcidae (Osteichthyes, Blennioidei) with the description of three new genera and five new species. *Archiv für Fischereiwissenschaft*, 27(3), pp.191-249.
-  Graham, M., Halpern, B. & Carr, M., 2008. Diversity and dynamics of Californian subtidal kelp forest. *Food Webs and Dynamics of Marine Benthic Ecosystems*, pp.103-34.
-  Graham, M.H., 2004. Effects of local deforestation on the diversity and structure of southern California giant kelp forest food webs. *Ecosystems*, 7, pp.733-43.
-  Graham, M.H., Kinlan, B.P., Druehl, L.D. & Garske, L.-E.-B.S., 2007a. Deep-water kelp refugia as potential hotspots of tropical marine diversity and productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(42), pp.16576-80.
-  Graham, M.H., Vasquez, J.A. & Buschmann, A.H., 2007b. Global ecology of the giant kelp *Macrocystis*: from ecotypes to ecosystems. *Oceanography and Marine Biology*, 45, pp.1-39.

-  Hannah, R.W. & Blume, M., 2014. The influence of bait and stereo video on the performance of a video lander as a survey tool for marine demersal reef fishes in Oregon waters. *Marine and Coastal Fisheries*, 6, pp.181-89.
-  Harasti, D., Malcolm, H., Gallen, C., Coleman, M. A., Jordan, A., & Knott, N. A., 2015. Appropriate set times to represent patterns of rocky reef fishes using baited video. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (436), pp.173-80.
-  Harver, E.S., Fletcher, D. & Shortis, M.R., 1998a. A comparison of the precision and accuracy of visual estimates of reef fish length made by divers and a stereo-video system. *Marine Ecology Progress Series*.
-  Harvey, E. S., Dorman, S. R., Fitzpatrick, C., Newman, S. J., & McLean, D. L. 2012. Response of diurnal and nocturnal coral reef fish to protection from fishing: an assessment using baited remote underwater video. *Coral Reef*, 31, pp.939-50.
-  Harvey, E., Fletcher, D. & Shortis, M., 2001a. Improving the statistical power of visual length estimates of reef fish: a comparison of divers and stereo-video. *Fisheries Bulletin*, 99, pp.72-80.
-  Harvey, E., Fletcher, D. & Shortis, M., 2001b. A comparison of the precision and accuracy of estimates of reef-fish lengths determined visually by divers with estimates produced by a stereo-video system. *Fisheries Bulletin*, 99, pp.63-71.
-  Harvey, E., Fletcher, D. & Shortis, M., 2002a. Estimation of reef fish length by divers and by stereo-video. A first comparison of the accuracy and precision in the field on living fish under operational conditions. *Fisheries Research*, 57, pp.255-65.
-  Harvey, E., Fletcher, D., Shortis, M. & Kendrick, G., 2004. A comparison of underwater visual distance estimates made by scuba and










stereo-video system: implications for underwater visual census of reef fish abundance. *Marine and Freshwater Research*, 55, pp.573-80.










-  Harvey, E., Shortis, M., Stadler, M. & Cappel, M., 2002b. A comparison of the accuracy and precision of measurements from single and stereo-video systems. *Marine Technology Society Journal*, 36, pp.38-49.
-  Harvey, E.S. & Shortis, M.R., 1996. A system for stereo-video measurement of sub-tidal organisms.. *Journal of the Marine Technology Society*, (29), pp.10-22.
-  Harvey, E.S. & Shortis, M.R., 1998. Calibration stability of an underwater stereo-video system: Implications for measurement accuracy and precision. *Marine Technology Society (MTS) Journal*, 32(2), pp.3-17.
-  Harvey, E. S., Cappel, M., Butler, J. J., Hall, N., & Kendrick, G. A. 2007. Bait attraction affects the performance of remote underwater video stations in assessment of demersal fish community structure. *Marine Ecology Progress Series*, 350, pp.245-54.
-  Hauser, A., Attrill, M.J. & Cotton, P.A., 2006. Effects of habitat complexity on the diversity and abundance of macrofauna colonising artificial kelp holdfasts. *Marine Ecology Progress Series*, 325, pp.93-100.
-  Heagney, E., Lynch, T., Babcock, R. & Suthers, I., 2007. Pelagic fish assemblages assessed using mid-water baited video: standardising fish counts using bait plume size. *Marine Ecology Progress Series*, 350, pp.255-66.
-  Heck, J.K., Coen, L.D. & Morgan, S.G., 2001. Pre-and-post-settlement factors as determinants of juvenile blue crab *Callinectes sapidus* abundance: results from North-central Gulf of Mexico. *Marine Ecology Progress Series*, 222, pp.163-76.
-  Hixon, M.A. & Menge, B.A., 1991. Species diversity: prey refuges modify the interaction effects of predation and competition. *Theoretical Population Biology Journal*, 39, pp.178-200.











-  Holbrook, S., Carr, m., Schmitt, R. & Coyer, J., 1990. Effect of giant kelp on local abundance of reef fisheries: importance of ontogenetic resource requeriments. *Bulletin of Marine Science*, 47(1), pp.104-14.
-  Hüne, M. & Ojeda, J., 2012. Estructura del ensamble de peces costeros de los canales y fiordos de la zona central de la Patagonia chilena(48°-52S). *Revista de biología marina y oceanografía*, 47(3), pp.451-60.
-  Hüne, M. & Vega, R., 2016. Feeding habitats in two sympatric species of Notothenioidei, *Patagonotothen cornucola* and *Harpagifer bispinis*, in the Chilean Patagonian channels and fjords. *Polar Biology*, 39(12), pp.2253-62.
-  Hüne, M., González-Wevar, C., Poulin, E., Mansilla, A., Fernández, D. A., & Barrera-Oro, E. 2015. Low level of genetic divergence between *Harpagifer* fish species (Perciformes: Notothenioidei) suggests a Quaternary colonization of Patagonia from the Antarctic Peninsula. *Polar Biology*, 38(5), pp. 607-617.
-  Hüne, M.V.R., 2015. Spatial variation in the diet of *Patagonotothen tesellata* (Pisces, Nototheniidae) from the fjords and channels of southern Chilean Patagonia. *Polar Biology*, 38(10), pp.1613-322.
-  Hureau, J.C. & Louis, A., 1978. Aplicacion de l'analyse canonique discriminante à la révision du genre *Harpagifer* (Téléostéens, Nototheniiformes). *Vie et Milieu*, 28-29(2), pp.287-306.
-  Ibañez, E. & Herrero, M., 2017. *¿Qué sabemos de las algas que comemos?* Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC.
-  Irigoyen, A., Galván, D., Venerus, L. & Parma, A., 2013. Variability in Abundance of Temperate Reef Fishes Estimated by Visual Census. *PLoS ONE*, 8(4), pp.1-12.










-  Isla, F., Bujalesky, G. & Coronato, A., 1999. Procesos estuarianos en el canal Beagle, Tierra del Fuego. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 54(4), pp.4822-99.
-  Isla, S.M., 1994. *Tesis Doctoral: Bioecología de Patagonotothen tesellata del Canal Beagle. Crecimiento y Alimentación*. La Plata: Universidad Nacional de la Plata. Facultad de Ciencias Naturales y Museo.
-  Iturraspe, R. & Urciuolo, A., 2000. Clasificación y caracterización de las cuencas hídricas de Tierra del Fuego. In *XVIII Congreso Nacional del Agua-Termas de Río Hondo, Santiago del Estero*. Santiago del Estero, 2000. XVIII Congreso nacional del agua.
-  Iturraspe, R.J. & Schroeder, C., 1994. Clima en el Canal de Beagle. *Inedito*, p.12.
-  Ivlev, V.A., 1961. *Experimental ecology of the feeding of fishes*. Yale University Press.
-  Jaureguizar, A. J., Cortés, F., Milessi, A. C., Cozzolino, E., & Allega, L. (2015). A trans-ecosystem fishery: environmental effects on the small-scale gillnet fishery along the Río de la Plata boundary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 166, pp. 92-104.
-  Jaureguizar, A., Menni, R. & Lasta, C., 2004. Environmental factors structuring fish communities of the Rio de la Plata estuary. *Fisheries Research*, 66, pp.195-211.
-  Jaureguizar, A.J., Ruarte, C. & Guerrero, R., 2006. Distribution of age-classes of striped weakfish (*Cynoscion guatucupa*) along an estuarine-marine gradient: correlations with the environmental parameters. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 67, pp.82-92.
-  Jenkins, G.P. & Wheatley, M.J., 1998. The influence of habitat structure on nearshore fish assemblages in a Southern Australian embayment: comparison of shallow seagrass, reef-algal and unvegetated sand










habitats, with emphasis on their importance to recruitment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 221, pp.147-72.










-  Jones, C.G., Lawton, J.H. & Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69, pp.373-86.
-  Jorgensen, N.M. & Christie, H., 2003. Diurnal, horizontal and vertical dispersal of kelp-associated fauna. *Hidrobiologia*, 503(1-3), pp.69-76.
-  Kevin, C.O. & Todd, W.A., 2010. Consequences of habitat disturbance and recovery to recruitment and the abundance of kelp forest fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 386, pp.1-10.
-  Kindt, R. & Coe, R., 2005. *Tree diversity analysis. A manual and software for common statistical methods for ecological and biodiversity studies*. Nairobi: World agroforestry centre.
-  Klimley, A.P. & Brown, S.T., 1983. Stereophotography for the field biologist: measurement of lengths and three-dimensional positions of free-swimming sharks,. *Marine Biology*, (74), pp.175-85.
-  Koenig, C. C., Shepard, A. N., Reed, J. K., Coleman, F. C., Brooke, S. D., Brusher, J., & Scanlon, K. M. 2005. Habitat and Fish Populations in the Deep-Sea Oculina Coral Ecosystem of the al Ecosystem of the Western Atlantic. *American Fisheries Society Symposium*, (41), pp.795:805.
-  Kreibohm, I. & Escofet, A.M., 1976. La fauna de anfípodos asociados a los bosques de *Macrocystis pyrifera* en Chunut: *Amphitoe femorata* (Kroyer) (Amphitoidea) y *Bircenna fulva* Chilton (Eophliantidae=. *Physis*, 35(90), pp.77-91.
-  Kühnemann, O., 1970. Algunas consideraciones sobre los bosques de *Macrocystis pyrifera*. *Physis*, 29(79), pp.273:96.
-  Kuno, E., 1981. Dispersal and the persistence of populations in unstable habitats: a theoretical note. *Oecologia*, 49, pp.123-26.









-  Langlois, T., Chabanet, P..P.D. & Harvey, E., 2006. Baited underwater video for assessing reef fish populations in marine reserves. *Secretariat of the South Pacific Community Fisheries Newsletter*, pp.53-56.
-  Le Cren, E.D., 1951. Th lenght-weight relationship and seasonal cycle in gonad weight and condition in the perch (*Perca fluviatilis*). *Journal of Animal Ecology*, 20, pp.201-19.
-  Lima, S. & Dill, L.M., 1990. Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canandian Journal of Zoology*, 68, pp.619-40.
-  Lizama, M.D.L.A.P. & Ambrosio, A.M., 2002. Condition factor in nine species of fish of the Characidae family in the upper Paraná river floodplai, Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 62(1), pp.113-24.
-  Lloris, D. & Rucabado, J., 1991. Ictiofauna del Canal Beagle (Tierra de Fuego) aspectos ecológicos y análisis biogeográfico. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaria General Técnica*, 8.
-  Lloris, D., Pequeño, G., Rucabado, J. & Lamilla, J., 1996. El género Harpagifer Richardson, 1844, en el extremo sur de América (Pisces, Harpagiferidae. *Series Ceintíficas INACH*, pp.42-58.
-  López-Gappa, J.J., Romanello, E.E. & Hernández, D.A., 1982. Observaciones sobre macrofauna y flora asociadas a los grampones de *Macrocystis pyrifera* (L.) C. Ag en la ría Deseado (Santa Cruz, Argentina). *Ecosur*, 9(17), pp.67-106.
-  López, H., García, M.L. & San Román, N.A., 1996. *Lista comentada de la ictiofauna del Canal Beagle*. Contribución Científica-Publicacion Especial. Ushuaia: Centro Austral de Investigaciones Científicas CADIC.
-  Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A. & Tilman, D. 2004. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294, pp.804-08.










-  Magurran, E.M., 2005. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell.
-  Maiztegui, T., 2016. *Ecología poblacional de Cyprinus carpio (TELEOSTEI) en los humedales de Ajó, Buenos Aires*. Tesis Doctoral. La Plata: Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad de la Plata.
-  Mallet, D. & Pelletier, D., 2014. Underwater video techniques for observing coastal marine biodiversity: a review of sixty years of publications (1952-2012). 154, pp.44-62.
-  Manly, B.F.M.L., McDonald, L., Thomas, D. L., McDonald, T. L., & Erickson, W. P. 2007. *Resource selection by animals statistical design and analysis for field studies*. Second Edition ed. New York: Kluwer Academic Publishers.
-  Marcinkevicius, M.S. & Gosztonyi, A.E., 2013. Desarrollo de los estadios tempranos de tres zoarcidos Patagónicos. *Revista de biología marina y oceanografía*, 48(2), pp.285-92.
-  Misa, W. F., Richards, B. L., DiNardo, G. T., Kelley, C. D., Moriwake, V. N., & Drazen, J. C. 2016. Evaluating the effect of soak time on bottomfish abundance and length data from stereo-video surveys. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (479), pp.20-34.
-  Montenegro, S., Gayo, M.d.C. & Tarrés, M.C., 2011. Aspectos éticos de la investigación con animales. *Revista Médica Rosario*, 77, pp.69-74.
-  Moreno, C.A. & Jara, F.H., 1984. Ecological studies on fish fauna associated with *Macrocystis pyrifera* belts in the south of Fuegian islands, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 15, pp.99-107.
-  Moreno, C.E., 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza: CYTED, ORCYT-UNESCO, SEA.
-  Munro, J., 1974. The mode of operation of Antillean fish traps and the relationships between ingress, escapement, catch and soak. *ICES Journal of Marine Science*, (35), pp.337-50.









-  Murphy, B.R. & Willis, D.W., 1996. *Fisheries techniques*. Second edition ed. Bethesda: American Fisheries Society,.
-  Murphy, H.M. & Jenkins, G.P., 2010. Observational methods used in marine spatial monitoring of fishes and associated habitats: a review. *Marine and Freshwater Research*, (61), pp.236-52.
-  Nelson, A., 2001. Behavioral ecology of young of the year kelp rockfish *Sebastes atrovirens* Jordan and Gilbert (Pisces Scorpaenidae)). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 256, pp.33-50.
-  Nelson, J.S., C, G.T. & Wilson, M.V., 2016. *Fishes of the world*. 5th ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
-  Neuswanger, J., 2014. *New 3D video methods reveal novel territorial drift-feeding behaviors that help explain environmental correlates of chena river chinook salmon productivity*. Dissertation. Fairbanks: University of Alaska Fairbanks.
-  Neuswanger, J., Wipfli, M., Rosenberger, A. & Hughes, N., 2016. Measuring fish and their physical habitats: versatile 2D and 3D video techniques with user-friendly software. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 73(12), pp.1861-73.
-  Newman SJ, Skepper CL, Mitsopoulos EA, Wakefield CB, Meeuwig JJ, et al. (2011) Assessment of the potential impacts of trap usage and ghost fishing on the northern demersal scalefish fishery. *Reviews in Fisheries Science* 19: pp. 74–84.
-  Newman, S., 1990. *Effects of depth of set, mesh size, bait and lunar phase on the performance of fish traps on the Great Barrier Reef*. Townsville: James Cook University of North Queensland, Townsville.
-  North, A. & White, M.G., 1987. Reproductive strategies of antarctic fish. In *V Congreso Europeo de Ictiología en Estocolmo*. Estocolmo, 1987. V Congreso Europeo de Ictiología en Estocolmo.









-  Ojeda, F.P. & Santelices, B., 1984. Invertebrate communities in holdfast of the kelp *Macrocystis pyrifera* from southern Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 16, pp.65-73.
-  Orth, R.J., Heck, J.K. & Montfrans, J., 1984. Faunal communities in seagrass beds: a review of the influence of plant structure and prey characteristics on predator-prey relationships. *Estuaries*, 7(A), pp.339-50.
-  Pallares, R.E. & Hall, M.A., 1974. Análisis bioestadístico ecológico de la fauna de copépodos asociados a los bosques de *Macrocystis pyrifera*. *Physis*, 33(86), pp.275-319.
-  Peck, L.S., 2005. Prospects for surviving climate change in Antarctic aquatic species. *Frontiers in Zoology*, 2(1), p.9.
-  Pelletier, D., 1991. *Les sources d'incertitude en gestion des pêcheries. Evaluation et propagation dans les modèles*. Tesis. Nantes: Institut National Agronomique Paris-Grignon. IFREMER.
-  Pequeño, R., 1989. Peces de Chile: Lista sistemática revisada y comentada. *Revista de Biología Marina*, 24, pp.1-132.
-  Pérez-Matus, A. & Shima, J.S., 2010. Disentangling the effects of macroalgae on the abundance of temperate reef fishes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 388, pp.1-10.
-  Pérez-Matus, A., 2010. *Effects of macroalgal habitats on the community and population structure of temperate reef fishes*. Tesis. Wellington: Victoria University of Wellington.
-  Pérez-Matus, A., Ferry-Graham, L.A., Cea, A. & Vásquez, J.A., 2007. Community structure of temperate reef fishes in kelp-dominated subtidal habitats of northern Chile. *Marine and Freshwater Research*, 58, pp.1069-85.


-  Pérez, A.F., Calvo, J., Tresguerres, M. & C, L., 2003. Agglomerularism in *Harpagifer bispinis*: a subantarctic notothenioid fish living at reduced salinity. *Polar Biology*, 26(12), pp.800-05.
-  Rae, G. & Calvo, J., 1995a. Annual gonadal cycle and reproduction in *Patagonotothen tessellata* (Richardson 1845) from the Beagle Channel, Argentina. *Journal of Applied Ichthyology*, 11, pp. 60-70.
-  Rae, G. & Calvo, J., 1995b. Fecundity and reproductive habits in *Patagonotothen tessellata* (Richardson, 1845) from the Beagle Channel. *Antarctic Science*, 7(03), pp.235-40.
-  Rae, G.A., 1991. *Biología Reproductiva Comparada de Dos Especies de Notothenidos del Canal Beagle*. Tesis Doctoral. La Plata: Universidad Nacional de la Plata; CADIC-CONIVET.
-  Rangeley, R.W. & Kramer, D.L., 1998. Density-dependent antipredator tactics and habitat selection in juvenile pollock. *Ecology*, 79(3), pp.943-52.
-  Reyes, P. & Hüne, M., 2012. *Peces del Sur de Chile*.
-  Ricker, W.E., 1973. Linear regressions in fishery research. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 30, pp.409-34.
-  Ríos, C. & Mutschke, E., 2009. Aporte al conocimiento de *Macrocystys pyrifera*: revisión bibliográfica sobre los "Huirales" distribuidos en la región de Magallanes. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 37(1), pp.97-102.
-  Ríos, C., Arntz, W. E., Gerdes, D., Mutschke, E., & Montiel, A. 2007. Spatial and temporal variability of the benthic assemblages associated to the holdfasts of the kelp *Macrocystis pyrifera* in the straits of Magellan, Chile. *Polar Biology*, 31, pp.89-100.

-  Ríos, C., Mutschke, E. & Cariceo, Y., 2003. Estructura poblacional de *Pseudoechinus magellanicus* (Philippi 1857) (Echinoidea: Temnopleuridae) en grampones de la macroalga sublitoral *Macrocystis pyrifera* (L.) Agardh en el estrecho de Magallanes. *Anales Instituto Patagonia (Chile)*, 31, pp.75-86.
-  Robins, C.R., 1991. World fishes important to North Americans. Exclusive of species from the continental waters of the United States and Canada.. *American Fisheries Society*, 21, p.243.
-  Rodriguez-Robles, J.A., Leal, M. & Losos, J.B., 2005. Habitat selection by the Puerto Rico yellow-chinned anole, *Anolis gundlachi*. *Canadian Journal of Zoology*, 83(7), pp.983-88.
-  Santana-Garcon, J., Newman, S.J., Langlois, T.J., Harvey, E.S. 2014. Effects of a spatial closure on highly mobile fish species: an assessment using pelagic stereo-BRUVs. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (460), pp.153-61.
-  Santelices, B. & Ojeda, F.P., 1984. Population dynamics of coastal forest of *Macrocystis pyrifera* in Puerto Toro, isla Navarino, Southern Chile. *Marine ecology progress series*, 14, pp.175:83.
-  Savage, R.E., 1931. The relation between the feeding of the herring off the east coast of England and the plankton of the surrounding waters. *Fishery Investigation, Ministry of Agriculture, Food and Fisheries Series*, 2(12), pp.1-88.
-  Schmitt, R.J. & Holbrook, S.J., 1990. Contrasting effects of giant kelp on dynamics of surfperch populations. *Oecología*, 84, pp.419-29.
-  Scott, A., 1920. Food of Port Erin Mackerel in 1919. Report of the Lancashire Sea-Fisheries Laboratories. *Proceedings and transactions of the Liverpool Biological Society*, 34, pp.107-11.

-  Shortis, M., Harvey, E. & Seager, J., 2007. A review of the status and trends in underwater videometric measurement. *Invited paper, SPIE Conference*, 6491, pp.1-26.
-  Showers, W.J., Daniels, R.A. & D, L., 1977. Marine biology at Palmer Station 1975 austral winter. *Antartic Journal of the United States* , 12(1-2), pp.22-25.
-  Smith, S. D., Simpson, R. D., & Cairns, S. C. (1996). The macrofaunal community of Ecklonia radiata holdfasts: description of the faunal assemblage and variation associated with differences in holdfast volume. *Australian Journal of Ecology*, 21(1), pp. 81-95.
-  Sokal, R.R. & Rohlf, J.A., 1979. *Biometria*. Madrid: H. Blume.
-  Sonenes, C., Link, O. & Habit, E., 2013. Selection denso-dependiente de microhabitat en Galaxias platei: un estudio experimental. *Gayana*, 77(1), pp.35-42.
-  Steneck, R.S., Graham, M. H., Bourque, B. J., Corbett, D., Erlandson, J. M., Estes, J. A., & Tegner, M. J. 2002. Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environmental Conservation*, 29(4), pp.436-59.
-  Stobart, B., García-Charton, J. A., Espejo, C., Rochel, E., Goñi, R., Reñones, O., ... & Planes, S. 2007. A baited underwater video technique to assess shallow-water Mediterranean fish assemblages: Methodological evaluation. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (345), pp.158-74.
-  Stoner, A.W. & Ottmar, M.L., 2004. Fish density and size alter Pacific halibut feeding: implications for stock assessment. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, (64), pp.1712-24.
-  Trenkel, V. & Cotter, J., 2009. Choosing survey time series for populations as part of an ecosystem approach to fishery management. *Aquatique Living Resources*, 22(121), p.126.

-  Trobbiani, G. & Venerus, L., 2015. A novel method to obtain accurate length estimates of carivorous reef fishes from a single video camera. *Neotropical Ichthyology*, 13(1), pp.93-102.
-  Troll, C., & Paffen, K. H. (1964). Karte der Jahreszeitenklimare der Erde. *Erdkunde. Archiv der wissenschaftlichen Geographie*, 18, 5-28. En Iturraspe, R.J. & Schroeder, C., 1994. Clima en el Canal de Beagle. *Inedito*, p.12.
-  Valenzuela, A., Rey, A.R., Fasola, L. & Schiavini, A., 2013. Understanding the inter-specific dynamics of two co-existing predators in the Tierra del Fuego Archipiélago: the native river otter and the exotic American mink. *Biological invasions*, 15(3), pp.645-56.
-  Vanella, F.A., Fernández, D.A., Romero, M.C. & Calvo, J., 2007. Changes in the fish fauna associated with a sub-Antarctic *Macrocystis pyrifera* kelp forest in response to canopy removal. *Polar biology*, 30, pp.449:57.
-  Vásques, J., Véliz, D. & pardo, L., 2001. *Biodiversidad de macroinvertebrados bajo las grandes algas. Sustenta*. Concepción: Universidad Concepción de Chile.
-  Vásquez, J.A., Castilla, J.C. & Santelices, B., 1984. Distributional patterns and diets of four species of sea urchins in giant kelp forest (*Macrocystis pyrifera*) of Puerto Toro, Navarino island, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 19, pp.55-63.
-  Vazzoler, A., 1996. *Biología da reprodução de peixes teleóseos: teoria e prática*. Maringá: EDUEM, SBI.
-  Vendel, A.L., Lopes, S.G., Santos, C. & Spach, H.L., 2003. Fish assemblages in a tidal flat. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 46(2), pp.233-42.

-  Villouta, E. & Santelices, B., 1984. Estructura de la comunidad submareal de *Lessonia* (Phaeophyta, Laminariales) en Chile norte y cenral. *Revista Chilena de Historia Natural*, 57, pp.111-22.
-  Waage-Nielsen, E., Christie, H. & Rinde, E., 2003. Short-term dispersal of kelp fauna to cleared (kelp-harvested) areas. *Hydrobiologia*, 503, pp.77-91.
-  Walter, H. (1976). Die Ökologischen System der Kontinente. Prinzipien ihrer Gliederung mit Beispielen. En Iturraspe, R.J. & Schroeder, C., 1994. Clima en el Canal de Beagle. *Inedito*, p.12.
-  Wehkamp, S. & Fischer, P., 2012. Impact of hard-bottom substrata on the small-scale distribution of fish and decapods in shallow subtidal temperate waters. *Helgoland Marine Research*, pp.59-72.
-  Whitelaw, A., Sainsbury, K., Dews, G. & Campbell, R., 1991. Catching characteristics of four fish-trap types on the North West Shelf of Australia. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, (42), pp.369-82.
-  Whitmarsh, S.K., Fairweather, P.G. & Huveneers, C., 2016. What is Big BRUVver up to? Methods and uses of baited underwater video. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, (27), pp.53-73.
-  Williamsab, R., Wright, A. J., Ashe, E., Blight, L. K., Bruintjes, R., Canessa, R., ... & Hammond, P. S. 2015. Impacts of anthropogenic noise on marine life: Publication patterns, new discoveries, and future directions in research and management. *Ocean & Coastal Management*, 115, pp.17-24.
-  Willis, T., Millar, R. & Barbcock, R., 2000. Detection of spatial variability in relative density of fishes: comparison of visual census, angling and baited underwater video. *Marine Ecology Progress Series*, 198, pp.249-60.

-  Yoccoz, N., J. N. & Boulinier, T., 2001. Monitoring of biological diversity in space and time. *Trends in Ecology & Evolution*, 16(8), pp.446-53.